

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO DE TESIS

**“COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS EN  
ESTRUCTURAS CON Y SIN DISIPADORES DE ENERGÍA PASIVOS  
DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SÍSMICA CUATRO”**

PRESENTADA POR: BACH. FRANCO NAVARRO VIERA

ASESORADO POR: ING. CARLOS SILVA CASTILLO

PIURA, AGOSTO 2017



## HOJA DE REGISTRO DE FIRMAS

Tesis presentada como requisito para optar el título de Ingeniero Civil

**“COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS EN ESTRUCTURAS CON Y SIN DISIPADORES DE ENERGÍA PASIVOS DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SÍSMICA CUATRO”**

MSC. ING. CARMEN CHILON MUÑOZ  
PRESIDENTE

MSC. ING. ANTONIO TIMANA FIESTAS  
SECRETARIO

ING. JULIAN FEDERICO DIENSTMAIER LEON  
VOCAL

ING. CARLOS SILVA CASTILLO  
ASESOR

BACH. ING. FRANCO NAVARRO VIERA  
TESISTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
Facultad de Ingeniería Civil  
DECANATO

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador, que suscriben, reunidos para estudiar el Trabajo de Tesis, presentado por el ex alumno de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura.

**BACH. NAVARRO VIERA FRANCO**

### TESIS TITULADA

**"COMPARACION DE LAS RESPUESTAS DINAMICAS EN ESTRUCTURAS CON Y SIN DISIPADORES DE ENRGIA PASIVOS DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SISMICA CUATRO"**

Oídas las observaciones y las respuestas a las preguntas, lo declaran

*Aprobado* con el calificativo de *Muy Bueno*

En consecuencia, queda en condiciones de ser calificado:

*Apt.*

Por el Consejo de Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **título de INGENIERO CIVIL**, de conformidad con lo estipulado en el Art. 176 del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 17 de enero de 2017.

ING. CARMEN CHILÓN MUÑOZ M.Sc.  
PRESIDENTE

ING. ANTONIO TIMANA FIESTAS M.Sc.  
SECRETARIO

ING. JULIAN FEDERICO DIENST MAIER LEON  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres quienes me han apoyado y brindado su amor incondicionalmente y que siempre han impulsado a buscar el éxito.

A mí querida esposa que ha sido un motor para poder culminar esta tesis, por su gran confianza y paciencia durante estos meses de estudio.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Carlos Silva Castillo, primero por el aporte de sus valiosos conocimientos así como por el apoyo desinteresado y generoso a lo largo de toda la elaboración de la tesis y segundo por ser un excelente docente.

Al Ph.D Genner Villarreal Castro por sus recomendaciones a las consultas realizadas en sus videos tutoriales en cuanto a la modelación estructural.

A los Ingenieros Diego Taboada Saavedra, Carlos Espinoza Morquencho, Jhon Chiroque Paico de la empresa CDV Representaciones, por la asesoría sobre las normas y consideraciones para el diseño de los disipadores viscosos, así como por el cálculo de los precios unitarios de los mismos.

A la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos días por el apoyo económico brindado para poder realizar este estudio.

Finalmente al prestigioso jurado evaluador, por las revisiones de los diferentes capítulos y por sus valiosos comentarios.



---

## INDICE

LISTADO DE FIGURAS	XI
LISTADO DE TABLAS	XIV
RESUMEN	XVI
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1. Planteamiento del problema y justificación	01
1.2. Objetivos	03
1.2.1. Objetivos generales	03
1.2.2. Objetivos específicos	03
1.3. Metodología	03
<b>CAPÍTULO II: SISTEMAS DE CONTROL DE LA RESPUESTA DINAMICA</b>	
2.1. Enfoque Sismorresistente tradicional	05
2.2. Enfoque sismorresistente con sistemas de protección por amortiguamiento	07
2.3. Balance de energía.	08
2.4. Clasificación	10
<b>CAPÍTULO III: DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO</b>	
3.1. Efecto del disipador de energía de fluido viscoso sobre el espectro de respuesta	11
3.2. Sistema de un grado de libertad con disipadores de energía de fluido viscoso	13
3.3. Disipadores de energía de fluido viscoso	15
3.3.1. Funcionamiento del dispositivo	16
3.3.2. Esquema del dispositivo	20
3.3.3. Comportamiento fuerza-desplazamiento	22
3.3.4. Respuesta del disipador	22
3.4. Ubicación y disposición de los disipadores.	29
3.4.1. Disposición Chevron	30



3.4.2. Disposición Diagonal	32
3.5. Ecuación general del dispositivo	33
3.5.1. Coeficiente de amortiguamiento “C”	34
3.5.2. Exponente de velocidad “ $\alpha$ ”	35
3.5.3. Rigidez del brazo metálico “k”	36
3.6. Recomendaciones sobre el uso del sistema de amortiguamiento en edificaciones.	
3.6.1. En función del tipo de sistema estructural	37
3.6.2. En función del nivel de desempeño deseado	37
3.6.3. En función de la edad de la estructura	38
3.6.4. En función de la estética o arquitectura del proyecto	39
3.6.5. En función del mantenimiento o vida útil	39
3.6.6. En función del costo y las condiciones del proyecto	39
3.6.7. En función de la importancia de la estructura	40
3.6.8. En función del tipo de dispositivo seleccionado	40
3.7. Fabricantes	40
3.8. Aplicaciones de los disipadores de fluido viscoso	41
3.8.1. Edificio Reducto	41
3.8.2. Reforzamiento Aeropuerto Jorge Chávez	42
3.8.3. Reforzamiento Hotel Costa del Sol	43
3.8.4. Nueva sede Banco de la Nación	44
3.8.5. Torre República de Panamá	45
3.8.6. Panorama Plaza de Negocios	46
3.8.7. T-Tower	47
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS</b>	<b>49</b>
4.1. Parámetros sísmicos	49
4.2. Registros tiempo-historia	50
4.3. Espectro de diseño	50
4.4. Escalamiento de registros sísmicos	51
4.5. Objetivos de desempeño	53



4.5.1. Sismos de diseño	53
4.5.2. Niveles de desempeño	54
4.5.3. Importancia de la edificación	56
4.5.4. Objetivos de desempeño	57
4.6. Definición de los objetivos de diseño	58
4.6.1. Relación daño-deriva	58
4.6.2. Deriva-objetivo	59
4.6.3. Amortiguamiento objetivo ( $\beta_{eff}$ )	60
4.7. Factores de la ecuación general del disipador	62
4.8. Modelamiento del sistema de amortiguamiento.	62
4.9. Respuesta de la estructura con sistema de amortiguamiento.	63
4.9.1. Derivas	63
4.9.2. Balance energético	63
4.9.3. Verificación del amortiguamiento objetivo	63
4.10. Esquema de la metodología de análisis	65
 <b>CAPÍTULO V: CASO DE ESTUDIO-CLINICA SANTA ISABEL</b>	 66
5.1. Descripción del proyecto	66
5.1.1. Ubicación	66
5.1.2. Detalle de los niveles	66
5.1.3. Estudio de mecánica de suelos y cimentación	68
5.1.4. Elementos estructurales	70
5.2. Consideraciones para el modelamiento	71
5.2.1. Propiedades de los materiales	71
5.2.2. Cargas consideradas para el análisis	72
5.2.3. Restricciones	73
5.3. Análisis estructural de la edificación	74
5.4. Análisis estático o de fuerzas equivalentes	75
5.4.1. Parámetros sísmicos	75
5.4.2. ZUCS/R	79





5.4.3. Fuerza cortante en la base	80
5.4.4. Desplazamientos laterales	81
5.4.5. Resultados	82
5.5. Análisis dinámico espectral	83
5.5.1. Verificación de la masa participativa	83
5.5.2. Verificación de la fuerza cortante mínima en la base	84
5.5.3. Desplazamientos laterales	86
5.5.4. Resultados	86
5.6. Reforzamiento con disipadores de energía viscosos	87
5.6.1. Espectro de diseño	87
5.6.2. Escalamiento de acelerogramas al espectro de diseño	89
5.6.3. Análisis tiempo – historia	91
5.6.4. Determinación del sismo de diseño	91
5.6.5. Elección del objetivo de desempeño	92
5.6.6. Amortiguamiento objetivo	93
5.6.7. Disposición y ubicación de los disipadores de fluido viscoso	96
5.6.8. Calculo de las propiedades del disipador	97
5.7. Respuesta de la estructura con disipadores	102
5.7.1. Reducción de derivas	102
5.7.2. Balance de energía	102
5.7.3. Verificación del comportamiento histerético	104
5.7.4. Modos y periodos de vibración de la estructura	107
5.7.5. Verificación del amortiguamiento objetivo	108
5.8. Evaluación de resultados	110
5.8.1. Desplazamientos en los centros de masa	110
5.8.2. Derivas de entrepiso	110
5.8.3. Esfuerzos máximos en muros de corte	111
5.8.4. Esfuerzos máximos en columnas	113
5.8.5. Aceleraciones y velocidades máximas	115
5.9. Requerimiento de dispositivos	116



5.10.Incremento del presupuesto	119
5.11.Justificación de la inversión	120
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO A: VISTAS EN PLANTAS DEL PROYECTO</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO B: COMPARACIÓN DE ESFUERZOS Y RESPUESTAS DINÁMICAS</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO C: PRESUPUESTO DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO</b>	<b>138</b>

## INDICE DE FIGURAS

- Fig 2.1** Enfoque estructural tradicional.
- Fig 2.2** Comparación entre estructuras muy dúctiles y resistentes.
- Fig 2.3** Gasto de energía en el edificio del Banco de Nueva Zelanda.
- Fig 2.4** Sistemas de control sísmico.
- Fig 2.5** Comportamiento de una estructura en 2D con y sin aislamiento en la base.
- Fig 2.6** Comportamiento de una estructura en 3D con y sin aislamiento en la base.
- Fig 2.7** Aislador basal de alto amortiguamiento (HDR)
- Fig 2.8** Aislador basal con núcleo de plomo
- Fig 2.9** Aislador basal de Péndulo Friccionante
- Fig 2.10** Aislador de apoyo deslizante.
- Fig 2.11** Rehabilitación de la torre del aeropuerto internacional Jorge Chávez.
- Fig 2.12** Clasificación de los disipadores de Energía.
- Fig 2.13** Disipador de Energía ADAS
- Fig 2.14** Sistema T-ADAS.
- Fig 2.15** (a) Disipador Honeycomb. (b) Respuesta histerética.
- Fig 2.16** Disipador de energía DUR
- Fig 2.17** Arriostre de pandeo restringido en University of New York at Buffalo.
- Fig 2.18** Disposición de paneles de cortante en una estructura metálica aporticada
- Fig 2.19** Disipador por extrusión
- Fig 2.20** Disipador de Energía del tipo Friccionante
- Fig 2.21** Respuesta histerética del disipador tipo Pall.
- Fig 2.22** Slotted Bolt Friction Damper (Rao y White 1996).
- Fig 2.23** Vista isométrica del disipador de energía viscoelástico.
- Fig 2.24** Vista frontal del disipador de energía de Viscoelástico.
- Fig 2.25** Disipador de Energía de Fluido Viscoso
- Fig 2.26** Comparativo de sistemas inerciales acoplados.
- Fig 2.27** Comparativo de edificación con protección sísmica-masa sintonizada
- Fig 2.28** Amortiguadores de masa sintonizada-Edificio Geocentro, Agustinas, Chile.

**Fig 2.29** Amortiguador de líquido sintonizado, Edificio One Rincon Hill, San Francisco.

**Fig 2.30** Estructura con sistema de control activo.

**Fig 2.31** Edificación con sistema de protección sísmica con sistema activo.

**Fig 2.32** Estructura con sistema de control semi-activo.

**Fig 2.33** Edificación con sistema de protección sísmica con sistema semi-activo.

**Fig 2.34** Estructura con sistema de control híbrido.

**Fig 3.1** Efecto en el espectro de desplazamiento al incrementar la rigidez y el amortiguamiento.

**Fig 3.2** Efecto en el espectro de aceleraciones al incrementar la rigidez y el amortiguamiento.

**Fig 3.3** Sistema de un grado de libertad con disipador de fluido viscoso, sometido a una excitación basal.

**Fig 3.4** Decremento logarítmico de una estructura con amortiguación.

**Fig 3.5** Disipador de Energía de Fluido Viscoso.

**Fig 3.6** Funcionamiento de un Disipador de Fluido Viscoso

**Fig 3.7** Esquema general de un Disipador de Energía TAYLOR DEVICES INC”

**Fig 3.8** Relación fuerza-Desplazamiento para exponentes de velocidad de 1 y 0.5.

**Fig 3.9** Fuerza por amortiguamiento vs velocidad.

**Fig 3.10** Desfase de la Velocidad con respecto al Desplazamiento

**Fig 3.11** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso lineal, para diferentes valores de la constante de amortiguamiento  $C_{md}$ .

**Fig 3.12** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso no Lineal, para diferentes valores de “ $\eta$ .” y con un mismo valor de  $C_{md}$ .

**Fig 3.13** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso no Lineal, para diferentes valores de “ $\eta$ .” y  $C_{md}$  tal que la fuerza de salida sea la misma.

**Fig 3.14** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso Lineal, considerando una velocidad límite.

**Fig 3.15** Disipadores Viscosos, uniendo las diagonales con las columnas en forma de V invertida.

**Fig 3.16** Templo Mormón, Santiago de Chile.



- Fig 3.17** Disipadores Viscosos, ubicados en la diagonal.
- Fig 3.18** Disipadores Viscosos, ubicados en la base del edificio.
- Fig 3.19** Fuerza por amortiguamiento vs velocidad.
- Fig 3.20** Puente Amolanas.
- Fig 3.21** Disipador de Energía de Fluido Viscoso fabricado por la Compañía Taylor Device Inc.
- Fig 4.1** Software Seismomatch para escalar registros sísmicos.
- Fig 4.2** Curva de capacidad sectorizada propuesta por el SEAOC.
- Fig 4.3** Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño (HAZUS).
- Fig 4.4** Relación Factor B y Amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ .
- Fig 4.5** Propiedades del dispositivo en el software ETABS.
- Fig 4.6** Respuesta de una estructura amortiguada sometida a un pulso.
- Fig 4.7** Propiedades del dispositivo TAYLOR DEVICES-Argollas.
- Fig 4.8** Propiedades del dispositivo TAYLOR DEVICES.
- Fig 4.9** Esquema de metodología de análisis de una estructura con disipadores.
- Fig 5.1** Plano de Localización y Ubicación de la Clínica Santa Isabel.
- Fig 5.2** Vista en planta del sótano
- Fig 5.3** Vista en planta del primer nivel
- Fig 5.4** Vista en planta del segundo nivel.
- Fig 5.5** Vista en planta del tercer nivel.
- Fig 5.6** Vista en planta de la azotea.
- Fig 5.7** Vista estructural en planta del primer al quinto nivel.
- Fig 5.8** ZUCS/R según las diferentes zonas sísmicas y perfiles de suelo del Perú.
- Fig 5.9** Disposición de los disipadores de fluido viscoso en la estructura.
- Fig 5.10** Longitud del brazo metálico del pórtico 1.
- Fig 5.11** Longitud del brazo metálico del pórtico 2.
- Fig 5.12** Longitud del brazo metálico del pórtico 3.

## INDICE DE TABLAS

- Tabla 3.1** Comparación entre las disposiciones Chevron y Diagonal.
- Tabla 3.2** Aplicaciones de los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso fabricado por la compañía Taylor.
- Tabla 3.3** Recomendación de la aplicación del sistema de amortiguamiento y de aislamiento de la base según el nivel de desempeño deseado.
- Tabla 4.1** Niveles de amenaza sísmica según la propuesta de SEAOC.
- Tabla 4.2** Niveles de desempeño según la propuesta de SEAOC.
- Tabla 4.3** Nivel de desempeño de la edificación (adaptado de SEAOC).
- Tabla 4.4** Desempeño esperado para edificios comunes en la costa peruana.
- Tabla 4.5** Relación Daño-deriva según el tipo de la estructura.
- Tabla 5.1** Áreas techadas en los niveles de la estructura.
- Tabla 5.2** Características geométricas de la estructura.
- Tabla 5.3** Detalle de los elementos estructurales.
- Tabla 5.4** Propiedades de los materiales involucrados en la estructura del edificio.
- Tabla 5.5** Cargas vivas utilizadas en el modelamiento de la estructura.
- Tabla 5.6** Porcentaje del cortante basal en los elementos de corte en la dirección X.
- Tabla 5.7** Porcentaje del cortante basal en los elementos de corte en la dirección Y.
- Tabla 5.8** Máxima distorsión obtenida en la dirección X e Y.
- Tabla 5.9** Desplazamiento máximo y promedio en la dirección Y-Y.
- Tabla 5.10** Parámetros sísmicos para el análisis estático en el eje X e Y.
- Tabla 5.11** Control de derivas en la dirección X – X.
- Tabla 5.12** Control de derivas en la dirección Y – Y.
- Tabla 5.13** Parámetros sísmicos para la definición del espectro de aceleraciones.
- Tabla 5.14** Masas participativas según los periodos de vibración.
- Tabla 5.15** Factor escala para un cortante basal dinámico al 80% del cortante basal estático.
- Tabla 5.16** Cortante basal final en los diferentes niveles de las direcciones X e Y.
- Tabla 5.17** Control de derivas en la dirección X – X.
- Tabla 5.18** Control de derivas en la dirección Y-Y.



- Tabla 5.19** Parámetros sísmicos para la definición del espectro de aceleración.
- Tabla 5.20** Control de derivas en dirección X – X para un  $R=1$ .
- Tabla 5.21** Control de derivas en dirección Y – Y para un  $R=1$ .
- Tabla 5.22** Ubicación de las estaciones con suelos S3.
- Tabla 5.23** Aceleraciones máximas de los tres registros estudiados.
- Tabla 5.24** Aceleraciones máximas de los tres registros debidamente escalados al espectro de diseño.
- Tabla 5.25** Control de derivas en el eje X del análisis tiempo historia de los tres registros sísmicos.
- Tabla 5.26** Control de derivas en el eje Y del análisis tiempo historia de los tres registros sísmicos.
- Tabla 5.27** Variaciones entre las derivas obtenidas en X-X (dinámico espectral vs tiempo historia).
- Tabla 5.28** Variaciones entre las derivas obtenidas en Y-Y (dinámico espectral vs tiempo historia).
- Tabla 5.29** Dimensiones del perfil metálico HSS 7.50x0.50.
- Tabla 5.30** Características del perfil metálico HSS 7.50x0.50.
- Tabla 5.31** Periodo fundamental de la estructura en Y-Y.
- Tabla 5.32** Desplazamiento modal según el primer modo de vibración.
- Tabla 5.33** Desplazamiento modal relativo.
- Tabla 5.34** Parámetro  $\lambda$  según FEMA 274.
- Tabla 5.35** Cálculos para hallar  $C_j$ .
- Tabla 5.36** Propiedades de los disipadores de fluido viscoso en los tres pórticos ubicados.
- Tabla 5.37** Control de derivas en el eje Y según análisis tiempo historia del sismo de Moquegua.
- Tabla 5.38** Porcentaje de disipación de energía en la estructura con disipadores.



## **“COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS EN ESTRUCTURAS CON Y SIN DISIPADORES DE ENERGÍA PASIVOS DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SÍSMICA CUATRO”**

### *Resumen*

Nuestro país está ubicado en una zona altamente sísmica y seísmos pasados han dejado a la luz nuestra cultura actual de construcción.

Recientemente la norma E 0.30 de Diseño sismorresistente ha implementado obligatoriamente dispositivos en las edificaciones esenciales del tipo A con el fin de restar las consecuencias negativas de los éstos fenómenos catastrales.

En esta tesis se describe un mecanismo que actualmente se está comercializando en todo el mundo y en el centro de nuestro país y se trata del disipador de fluido viscoso donde se mencionan los principios de funcionamiento y aplicaciones de estos sistemas antisísmicos.

Parte fundamental de esta tesis es demostrar e incentivar que el uso de estos disipadores de energía en nuestra región de Piura, que es la zona sísmica cuatro y la más vulnerable, evita pérdidas económicas y humanas antes un siniestro como se ha visto años anteriores.

Así también uno de los objetivos principales en esta investigación es comparar las respuestas dinámicas de un edificio con estos dispositivos incorporados en su estructura y sin estos, y comprobar que ante una catástrofe semejante al año 2007 una estructura no puede sufrir ningún daño estructural, paralizaciones post-sismo ni inversiones en reparaciones de la estructura.

La estructura que se analiza es una edificación esencial del tipo A, específicamente una Clínica Gastro de 5 niveles más azotea ubicada en la Urb. Santa Isabel.





### Summary

Our country is located in a highly seismic area and past earthquakes have brought to light our current construction culture.

Recently the standard E 0.30 of Seismic Design has established mandatory devices in essential type A buildings in order to reduce the negative consequences of these cadastral phenomena.

This thesis describes a mechanism that is currently being commercialized throughout the world and in the center of our country and is the viscous fluid heatsink where the principles of operation and applications of these earthquake systems are mentioned.

A fundamental part of this thesis is to demonstrate and encourage the use of these energy dissipators in our region of Piura, which is the seismic zone four and the most vulnerable, avoiding economic and human losses in a sinister as has been seen in previous years.

Also one of the main objectives in this research is to compare the dynamic responses of a building with these devices incorporated in its structure and without these, and to verify that in a similar catastrophe to the year 2007 a structure can not suffer any structural damage, paralyzes post -sism or investments in structure repairs.

The structure that is analyzed is an essential building of the type A, specifically a Gastro-Clinic of 5 levels plus rooftop located in Urb. Santa Isabel.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Varios países se encuentran ubicados en el Cinturón de Fuego del Pacífico o también llamado el Anillo de Fuego del Pacífico. Esta zona está situada en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por su frecuente actividad sísmica, pues parte de la corteza continental y oceánica descansan en zonas de subducción, esto da origen a la acumulación de energía que posteriormente se libera provocando ondulaciones que se propagan en todas las direcciones, este proceso se llama movimiento sísmico. Nuestro país no es la excepción y debido al proceso de subducción de la placa de Nazca (oceánica) bajo la placa sudamericana (continental) hace que nuestro país sea proclive a la actividad sísmica.

El proceso de liberación de energía llega a ser impredecible e ineludible debido a que puede suscitarse en cualquier periodo del año pero logra ser más aún amenazador cuando se presenta en zonas donde la energía producto de la fricción entre varias placas permanece acumulada por un largo periodo, esto es llamado silencio sísmico.

El Foco o punto del interior de la corteza terrestre en el que se origina un movimiento sísmico se llama Hipocentro y desde allí, con una velocidad de propagación muy alta se direcciona en todos los sentidos proyectándose hasta la superficie de la tierra o Epicentro que dependiendo básicamente de las condiciones geotécnicas del suelo en que se cimienta una estructura puede originar diferentes respuestas dinámicas para un mismo grado de intensidad de sismo.

### **1.1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.**

Ante ello no podemos descartar las experiencias ocurridas en nuestro país y en el mundo, donde estructuras de cualquier tipo se han visto afectadas por los movimientos telúricos de la tierra y las consecuencias se han dado a notar con la pérdidas de miles de vidas humanas, bienes y propiedades de un valor sumamente alto.

Esto ha impulsado a que avances de la ciencia y la investigación para aplicaciones estructurales puedan dar paso al concepto de Disipación Sísmica de Energía en estructuras, que tiene por objeto no alterar la energía de ingreso sino más bien que al incorporar dispositivos pasivos a la superestructura puedan absorber una parte de la energía de entrada para que de esta manera poder reducir la demanda de disipación de energía en los miembros primarios estructurales, mejorando el desempeño de las edificaciones, minimizando la intensidad del movimiento sísmico y el posible daño estructural.

Las investigaciones y el desarrollo de estos dispositivos alrededor del mundo tienen más de 30 años de historia pero el uso de éstos en nuestro país se dio por primera vez en el año 2004 con la construcción del Casino Mubarak en Lima, aquél fue punto clave para empezar a emplear estos mecanismos pasivos en edificaciones nuevas y en la restauración de estructuras existentes, probando ser un método efectivo de reforzamiento sísmico.

Como ejemplo de su aplicación en nuestro país se pueden mencionar los siguientes proyectos:

- La Torre República de Panamá (Surquillo-Lima).
- Banco de la Nación (San Borja-Lima).
- Edificio Reducto (Miraflores-Lima).
- Edificio Javier Prado (San isidro-Lima).
- Torre Olguín (Santiago de Surco-Lima).
- T Tower (San Isidro-Lima).
- Aeropuerto Internacional Jorge Chávez y entre otros (Callao-Lima)

Y también en el exterior como:

- Centro Cívico de San Francisco (USA).
- Hospital Raikai (Japón).
- Torre Mayor (México).
- Puente Amolanas (Chile).

## **1.2. OBJETIVOS.**

### **1.2.1. Objetivos generales**

- El objetivo general de este documento es poder realizar la COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS EN LA ESTRUCTURA DE LA “CLÍNICA SANTA ISABEL” CON Y SIN DISIPADORES DE ENERGÍA PASIVOS DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SÍSMICA CUATRO.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Comprobar que el uso de disipadores de energía de fluido viscoso es aceptable para las zonas sísmicas y los perfiles del suelo desfavorables según la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014.
- Reducir la deriva de 10.75‰ a una deriva objetivo según la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014 ante un sismo de magnitud 7 en escala de Richter.
- Elaborar la metodología de modelación de edificaciones con disipadores de fluido viscoso.
- Desarrollar el análisis estático, dinámico del proyecto original “Clínica Santa Isabel”.
- Desarrollar el análisis tiempo historia de la estructura para la obtención del sismo de diseño.
- Comparar las respuestas dinámicas y esfuerzos de la estructura con y sin disipadores de fluido viscoso.

## **1.3. METODOLOGÍA.**

Las herramientas fundamentales para el desarrollo de este documento ha sido el uso y aplicación del software ETABS V13.1.1, que tendrá como fin principal el modelamiento de la estructura con y sin disipadores de fluido viscoso para la comparación de las respuestas dinámicas de ambos modelamientos, y además fue necesario el software SEISMOMATCH V2.1 para poder escalar el espectro del sismo de Moquegua del año 2001 al espectro de diseño.



Un material también imprescindible para el modelamiento de la estructura es la obtención de registros sísmicos de los últimos años manifestados en nuestro país; estos registros fueron proporcionados por el Sr Lucio Estacio Flores (Jefe del Centro de Cómputo en Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID) a través de la página <http://sig.cismid-uni.org/redacis>.

En el curso de este documento se ha aplicado el método Correlacional que ha tenido como fin medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables, en este caso se relacionó el desempeño sísmico de una estructura existente con y sin disipadores de fluido viscoso, determinando el comportamiento de cada una de las variables involucradas tales como desplazamientos, velocidades, aceleraciones, derivas máximas etc.

## **CAPÍTULO II**

### **SISTEMAS DE CONTROL ESTRUCTURAL DE LA RESPUESTA DINÁMICA**

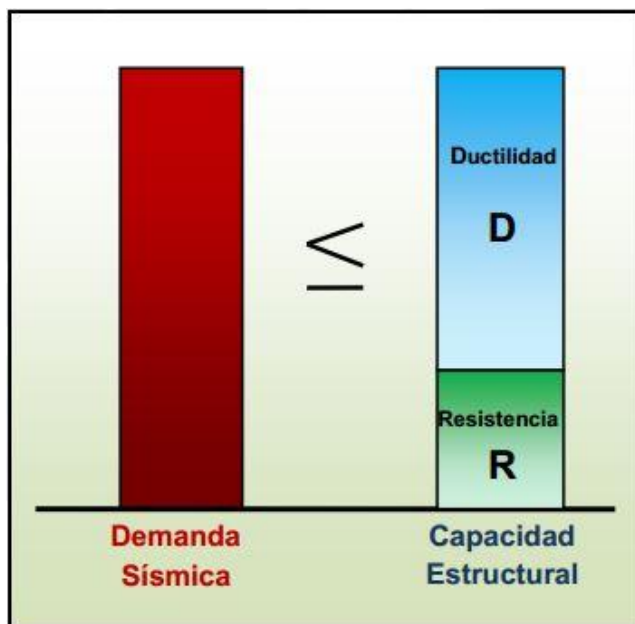
El diseño sísmico de una cualquier estructura puede estar basado en dos enfoques principales:

#### **2.1. ENFOQUE SISMORESISTENTE TRADICIONAL.**

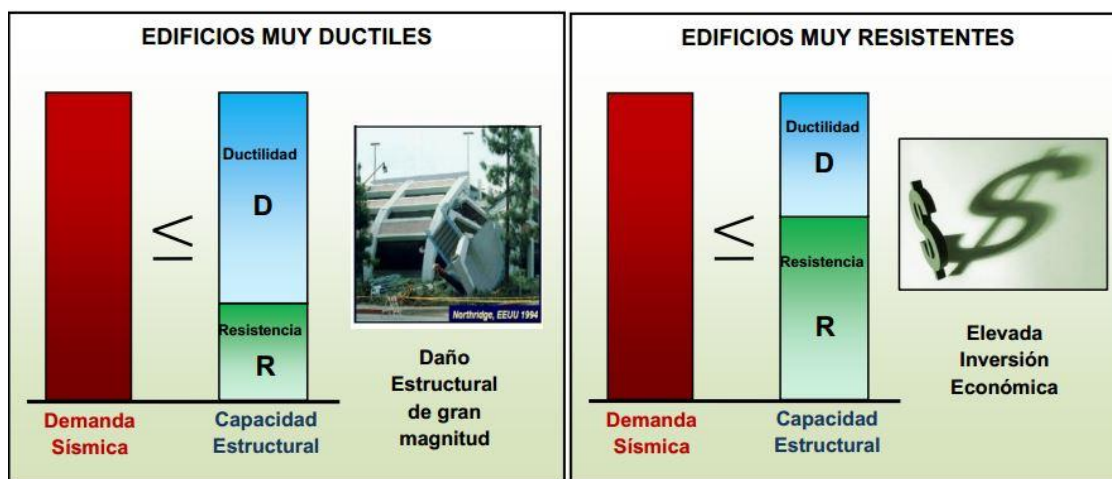
El enfoque tradicional del diseño sismorresistente tiene como fin proveer a la estructura características fundamentales tales como ductilidad y resistencia (Figura 2.1) con el fin que puedan adquirir la capacidad necesaria para disipar la energía producida por una sollicitación sísmica a través de la incursión en el rango inelástico.

El diseño sismorresistente tradicional tienen como filosofía evitar el colapso de las estructuras y no causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio, pero ante sismos de gran magnitud la estructura tendrá que incursionar en el rango inelástico y los elementos estructurales estarán sometidos a esfuerzos importantes ocasionando deformaciones no recuperables, teniendo como consecuencia un daño estructural cuantioso.

Este enfoque se realiza combinando sistemas estructurales como los muros de corte, sistemas duales, marcos rígidos arriostrados, armaduras de acero, etc., además aumentando las secciones de los elementos estructurales para proporcionarles resistencia y teniendo un buen criterio para la estructuración en planta y altura; este enfoque logra ser un beneficio porque los elementos estructurales son capaces de resistir las cargas laterales debido a la excitación sísmica pero este enfoque no logra ser equilibrado porque puede causar daños estructurales y elevadas inversiones económicas (Figura 2.2)



**Figura 2.1** Enfoque estructural tradicional (Boza, Galán 2013).



**Figura 2.2** Comparación entre estructuras muy dúctiles y resistentes (Boza, Galán 2013).

## **2.2. ENFOQUE SISMORRESISTENTE CON SISTEMAS DE PROTECCIÓN POR AMORTIGUAMIENTO.**

El daño estructural en eventos sísmicos pasados han puesto en tela de juicio el enfoque del diseño por el método convencional en la estructuras y los métodos de análisis empleados para valorar su respuesta. Algunos puntos importantes que se han cuestionado son:

- La dificultad en determinar con puntualidad la demanda de ductilidad ante un evento sísmico y donde se va a producir.
- La presencia de fallas frágiles en sistemas supuestamente dúctiles.
- El elevado costo de reparación que supone un comportamiento dúctil basado en una disipación de la energía en el seno estructural.

Actualmente en los países desarrollados el diseño sismorresistente está orientado a buscar sistemas que localicen la demanda de ductilidad en elementos predeterminados. Esto supone claras ventajas:

- Resulta más factible garantizar la demanda de ductilidad.
- El control de calidad en los materiales y en ejecución puede ser más intenso en las zonas donde se establece la oferta de ductilidad.
- El daño resulta más predecible y la reparación más económica que en los sistemas basados en el daño estructural disperso.

Este nuevo enfoque de poder proteger a la estructura de las vibraciones generadas por excitaciones dinámicas es reducir la demanda sísmica de los elementos estructurales para evitar que puedan incursionar en el rango inelástico y reducir el sobreesfuerzo notable de la edificación que ocasionarían daños irreparables y costosos en el proyecto (Figura 2.2)

La reducción de la demanda en los elementos importantes de la estructura se puede llevar a cabo incorporando dispositivos en la estructura o en su base para poder absorber la mayor cantidad de energía sísmica que ingresa al sistema o dicho en otras palabras para aumentar la participación del amortiguamiento viscoso. Esto tiene un beneficio considerable en el sistema porque:

- Controla las derivas de los niveles superiores.
- Disminuye la posibilidad que la estructura incurra en el rango inelástico y se generen rotulas plásticas.
- Evita la necesidad de aumentar las secciones de los elementos estructurales importantes.
- Brinda seguridad, garantía y vida útil de la edificación.
- Reduce el movimiento sísmico en la estructura.
- Los elementos principales del sistema no presentan sobreesfuerzos.
- Reduce el costo de mantenimiento post-sismo.
- Se evita la paralización post-sismo.

### 2.3. BALANCE DE ENERGÍA.

Ante un evento sísmico una serie de vibraciones longitudinales y transversales ingresan a la estructura convertida en energía y la estructura deberá soportar la excitación sísmica cumpliendo la siguiente ecuación:

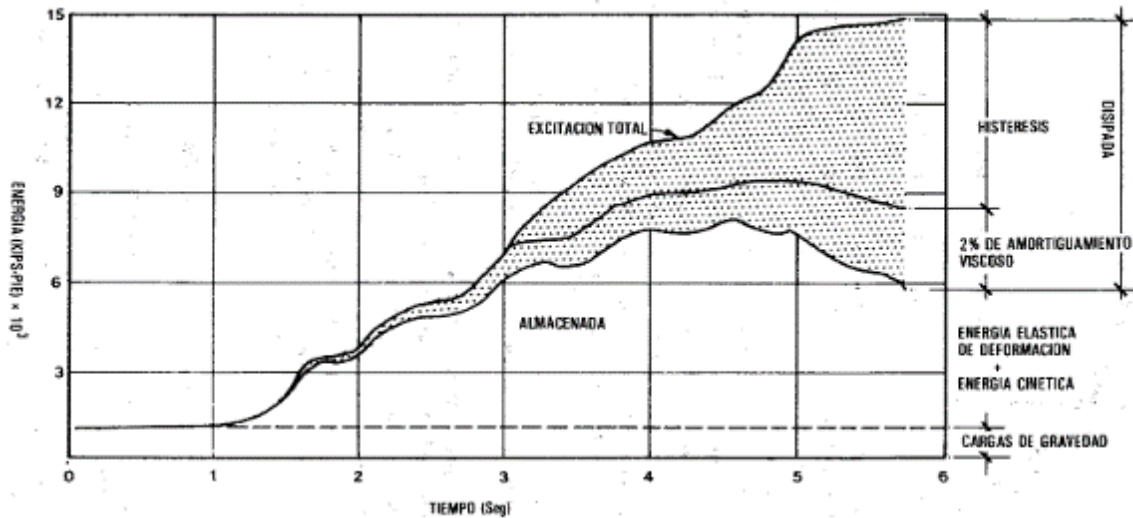
$$E_i = E_k + E_s + E_\xi + E_i$$

Esta ecuación es también llamada la ecuación de balance de energía de un sistema estructural sometido a una excitación sísmica. El miembro derecho de la ecuación representa la acumulación de energía que se genera en la estructura debido al ingreso de energía liberada producto de un sismo (miembro izquierdo) tal como en la Figura 2.3.

Donde:

- $E_i$ : Corresponde a la energía de entrada por el sismo.
- $E_k$ : Energía Cinética, es parte de la energía total que se transforma en movimiento o calor.
- $E_s$ : Energía de deformación elástica o Energía potencial, es parte de la energía que se transforma en deformación de los elementos del sistema.
- $E_\xi$ : Energía de amortiguamiento, es parte de la energía que es disipada por fuentes de amortiguamiento.

- $E_i$ : Energía por deformación inelástica, es parte de la energía que se relaciona con la deformación no recuperable de los elementos del sistema.



**Figura 2.3** Gasto de energía en el edificio del Banco de Nueva Zelanda.  
(Dowrick 1984)

Como se mencionó anteriormente para lograr un diseño sismorresistente óptimo será necesario poder disipar la energía de ingreso a la estructura a través de dos maneras:

- 1) Aumentando ductilidad y la rigidez del sistema con el fin de evitar la deformación no recuperable de los elementos estructurales ( $E_i$ ).
- 2) Aumentando la energía de amortiguamiento, agregando fuentes de amortiguamiento ( $E_\xi$ ) con el fin que éstos puedan absorber la mayor parte de energía sísmica y evitar que los elementos estructurales se vean afectados.

La primera opción es lo que se hace en el diseño tradicional sismorresistente, que se basa en proveer una combinación de resistencia y ductilidad para soportar las cargas sísmicas, así el Ingeniero estructural se apoya en la ductilidad inherente de los sistemas estructurales detallados y construidos conscientemente, para evitar fallas catastróficas aunque permitiendo cierto grado de daño en la estructura, pero evitando el colapso.

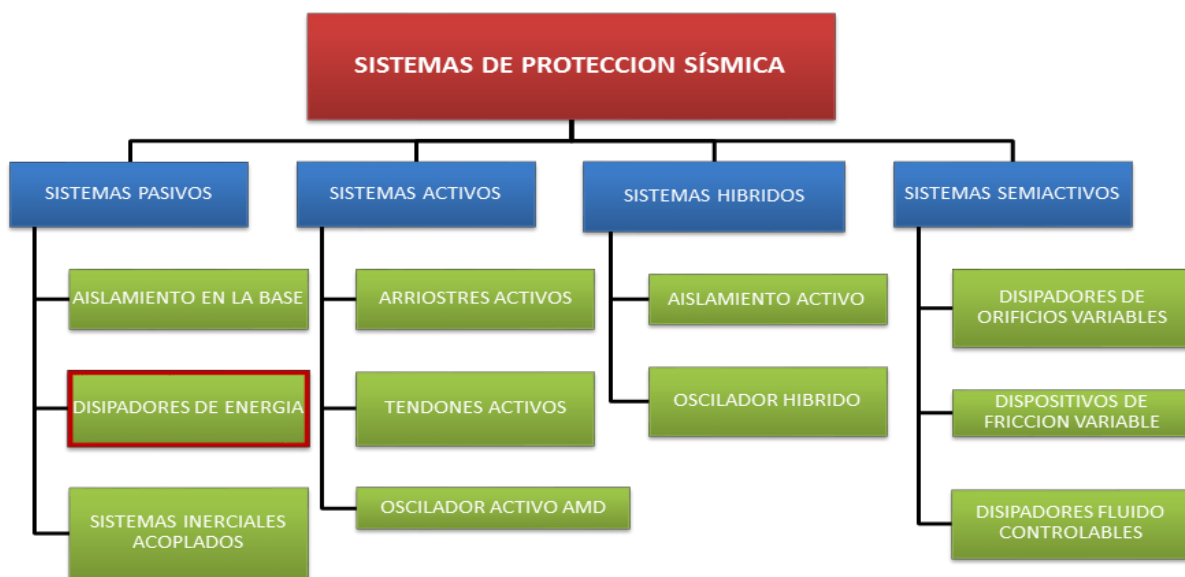
La segunda opción se logra incorporando dispositivos de disipación de energía al sistema, con el fin de absorber o consumir una porción importante de la energía sísmica, reduciendo así las demandas de disipación de energía por ductilidad en los miembros estructurales principales y minimizar así su posible daño estructural (Oviedo, 2003).

## 2.4. CLASIFICACION

Los mecanismos de protección sísmica se clasifican según el requerimiento de energía eléctrica que necesitan para poder responder ante una sollicitación sísmica.

- Sistemas de control pasivo.
- Sistemas de control activo.
- Sistemas de control semiactivo.
- Sistemas de control híbrido.

Los sistemas de protección sísmica empleados actualmente (Figura 2.4) comprenden desde simples dispositivos de control pasivo hasta avanzados sistemas completamente activos. Los sistemas pasivos son tal vez los más conocidos en nuestro país e incluyen los sistemas de aislamiento sísmico y los sistemas mecánicos de disipación de energía.



**Figura 2.4** Sistemas de control sísmico.

## **CAPÍTULO III**

### **DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO**

Al introducir disipadores de energía a un edificio, éste se divide en dos sistemas interdependientes:

- El Sistema estructural, compuesto por los elementos de concreto armado o acero que componen la estructura.
- El Sistema de amortiguamiento, compuesto por los amortiguadores, conexiones metálicas y elementos de concreto o acero que estén conectados directamente a ellos.

#### **3.1. EFECTO DEL DISIPADOR DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO SOBRE EL ESPECTRO DE RESPUESTA**

Como ya se ha mencionado anteriormente en la sección 2.1 y 2.2 para poder resolver al problema de limitar la respuesta dinámica de una estructura sometida a una excitación sísmica se puede optar por dos opciones:

1) El método convencional, que consiste en incrementar la rigidez y ductilidad de la estructura. Esto se logra aumentando las secciones de la misma, lo que trae consigo un aumento de la masa y por ende un aumento de la fuerza que actúa sobre ella.

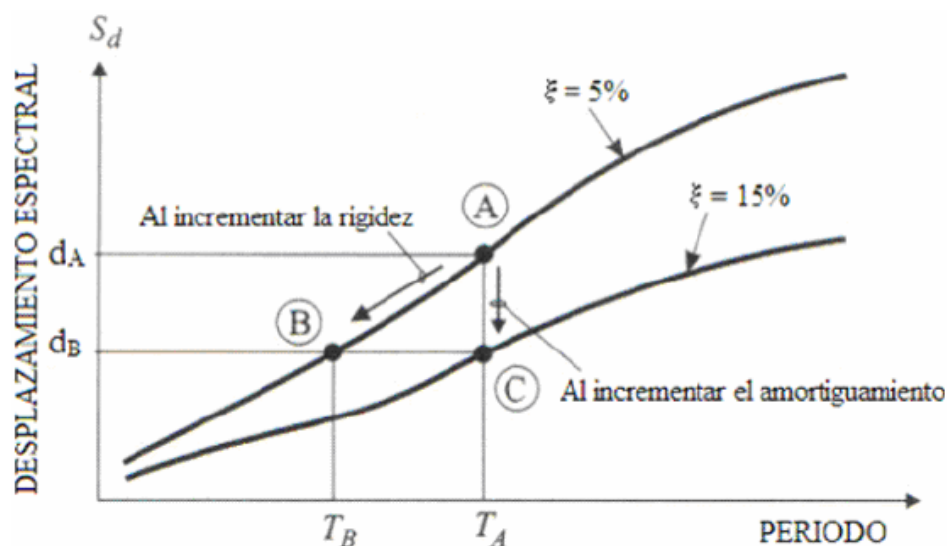
2) La segunda alternativa consiste en adicionar dispositivos a la edificación de tal forma de controlar la energía entrante a la estructura debido al sismo, disipándola al ambiente como energía calorífica.

En la Figura 3.1 se muestra el espectro de desplazamiento para una cierta estructura. Si el valor del periodo fundamental de ésta es “TA”, dicho periodo se ha determinado considerando sólo el amortiguamiento propio o natural que la estructura posee debido a las propiedades de los materiales que la componen. Se ha supuesto que dicho amortiguamiento es de un 5% del amortiguamiento crítico y además para este periodo se le asocia un desplazamiento espectral  $d_A$  (punto “A”).

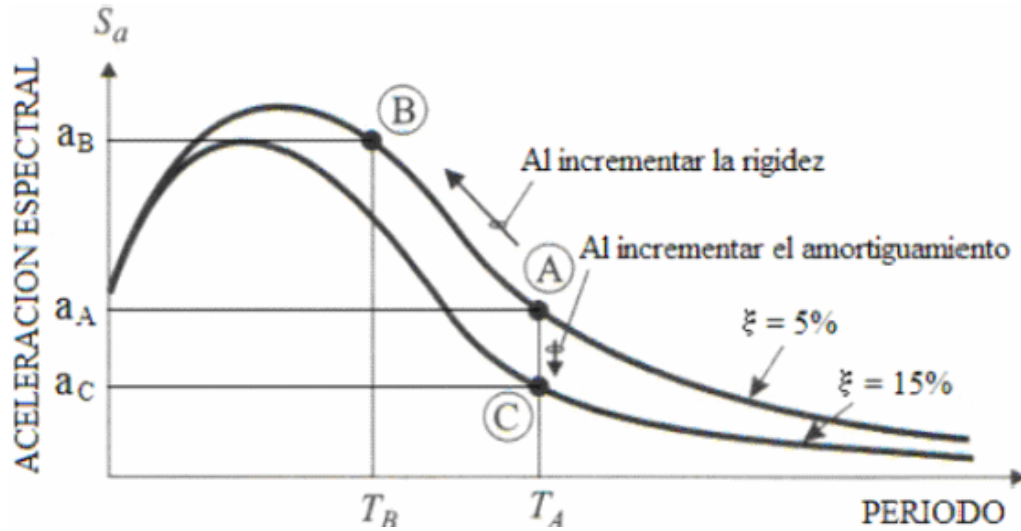


Ahora si se tiene como objetivo disminuir el desplazamiento espectral de la estructura de “dA” a “dB” se debe escoger una de las opciones de diseño descritos anteriormente. Si se aumentan las secciones de los miembros estructurales (columnas, muros, etc.) de la edificación con el fin de aumentar la rigidez de la misma, se disminuirá el desplazamiento espectral pero se incrementará la aceleración (ver Figura 3.2) sobre la estructura (punto “B”).

Si se escoge la opción de incrementar la razón de amortiguamiento crítico de 5% a 15%, mediante la adición de dispositivos de amortiguamiento viscoso, se observa que no sólo se disminuirá el desplazamiento espectral, sino que además la aceleración sobre la estructura disminuirá de dA a dC (punto “C”).



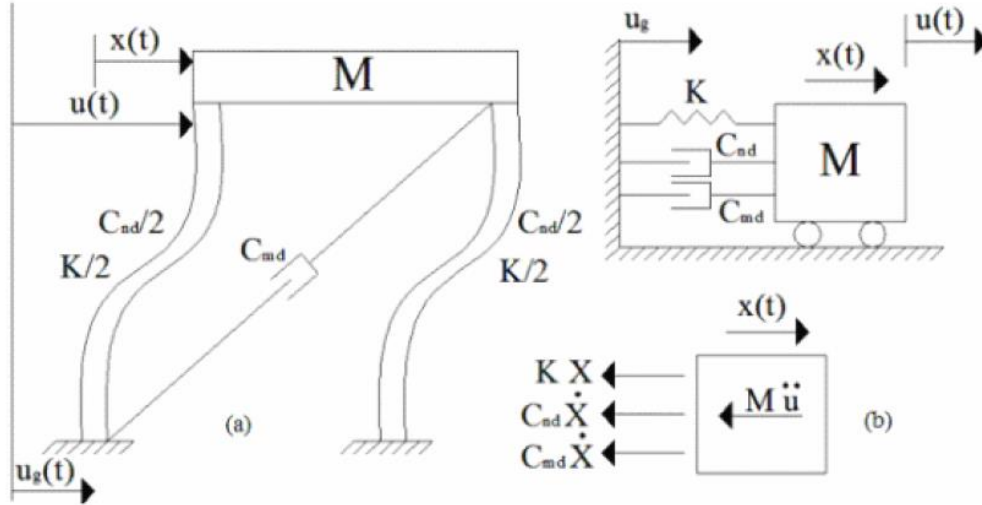
**Figura 3.1** Efecto en el espectro de desplazamiento al incrementar la rigidez y el amortiguamiento.  
(Hart y Wong, 2000)



**Figura 3.2** Efecto en el espectro de aceleraciones al incrementar la rigidez y el amortiguamiento. (Hart y Wong, 2000)

### 3.2. SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

Considere un sistema de un grado de libertad, en el cual se ha instalado en la diagonal un Disipador de Energía de Fluido Viscoso con una constante de amortiguamiento “ $C_{md}$ ” (ver Figura 3.3). Este sistema al verse sometido a una excitación basal provocará un desplazamiento, velocidad y aceleración relativo de la masa “ $M$ ” con respecto a la base del sistema. Este movimiento relativo a su vez provocará una fuerza de amortiguamiento en el dispositivo, dada por la ecuación 3.1.



**Figura 3.3** Sistema de un grado de libertad con disipador de fluido viscoso, sometido a una excitación basal.  
(Hart y Wong, 2000)

La ecuación diferencial que gobierna el movimiento de vibración de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento suplementario, sometido a una excitación basal  $U_g$  se puede derivar a partir del modelo simplificado de la Figura 3.3, estableciendo el equilibrio dinámico de las fuerzas que actúan sobre masa “M”, entonces se obtiene:

$$m\ddot{x}(t) + C_{nd}\dot{x}(t) + C_{md}\dot{x}(t)^n + kx(t) = -m\ddot{u}_g \quad (3.1)$$

$$\ddot{x}(t) + 2\xi_{nd}\omega\dot{x}(t) + 2\xi_{md}\omega\dot{x}(t)^n + \omega^2x(t) = -\ddot{u}_g \quad (3.2)$$

Donde:

- $m$ : Masa del sistema.
- $C_{nd}$ : Coeficiente de amortiguamiento viscoso, asociado al amortiguamiento natural de la estructura.
- $C_{md}$ : Coeficiente de amortiguamiento viscoso, asociado al amortiguamiento suplementario de la estructura.
- $k$ : Rigidez de la estructura.
- $\omega$ : Frecuencia propia o natural de vibración del sistema, en [rad/seg]

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- $\xi$ : Razón de amortiguamiento crítico, que corresponde a la razón del coeficiente de amortiguamiento y el amortiguamiento crítico.

$$\xi_{nd} = \frac{C_{nd}}{C_{cr}}$$

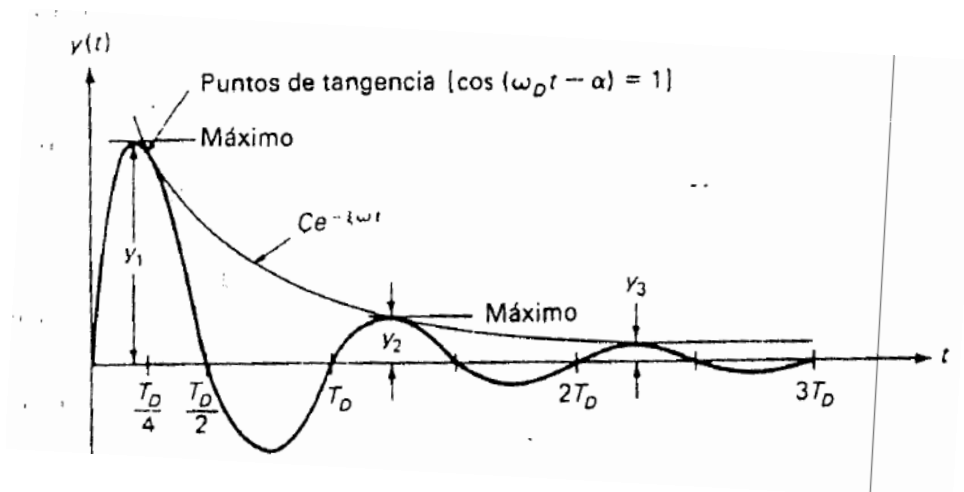
$$\xi_{md} = \frac{C_{md}}{C_{cr}}$$

### 3.3. DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

Como punto de partida para la discusión de amortiguamiento en estructuras, considere que a esta se le somete a un pequeño desplazamiento y luego se suelta. La estructura quedará vibrando de un lado a otro con una cierta amplitud que se decaerá en el tiempo.

Históricamente los ingenieros estructurales han asumido que la reducción del movimiento está asociada a la presencia de amortiguamiento viscoso en los materiales que se emplean.

El decremento logarítmico es a menudo usado para determinar experimentalmente el coeficiente de amortiguamiento de un sistema midiendo la proporción en que decrece la amplitud del movimiento (ver Figura 3.4) de dos amplitudes máximas consecutivas.



**Figura 3.4** Decremento logarítmico de una estructura con amortiguación.  
(Paz, 1992)

La cuantificación de los valores del amortiguamiento viscoso en edificios ha sido asunto de investigación por más de 50 años. Este tipo de amortiguamiento es llamado “Amortiguamiento Natural” porque está asociado al amortiguamiento interno que poseen los materiales con los que se construyen los elementos estructurales. Este Amortiguamiento Natural representa la energía disipada por los elementos estructurales de la edificación (columnas, muros, etc.) en el movimiento del edificio en el tiempo.

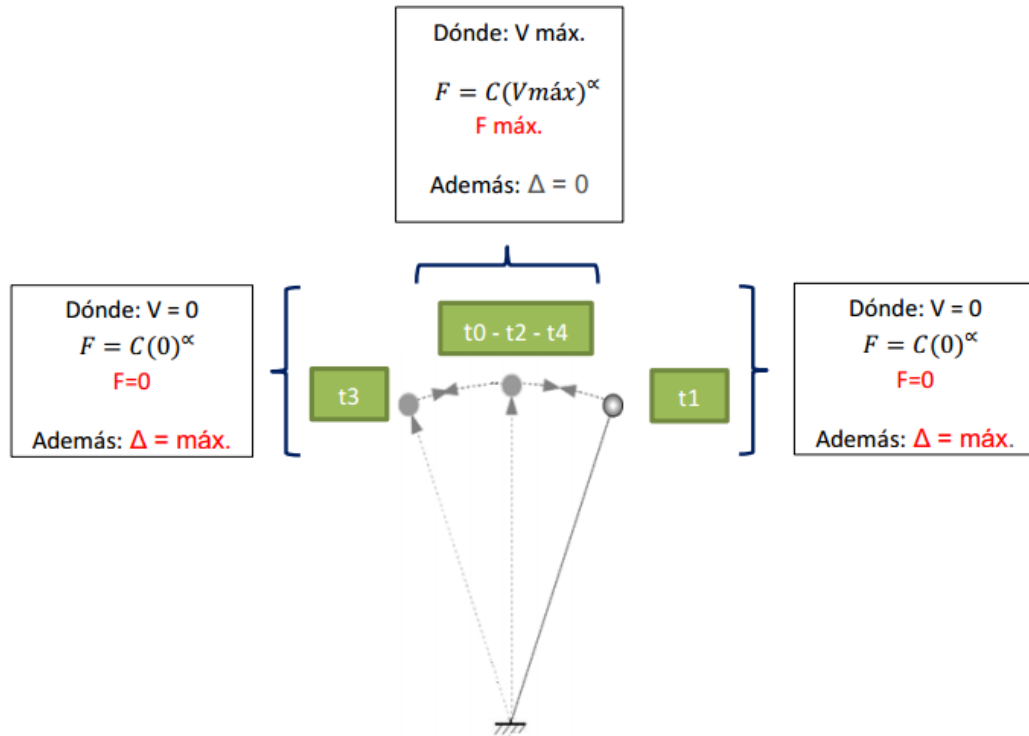
En las décadas pasadas, se comenzó a investigar y experimentar con nuevos sistemas antisísmicos, los llamados “Sistemas de Control Pasivo”. Los primeros dispositivos de este tipo de tecnología que se introdujeron en edificios para ayudar a mitigar el impacto de los movimientos producidos por los sismos, fue el “Sistema de Aislamiento Basal”, más tarde (en la década de los 90) se comenzó a implementar estructuras con otro tipo de elementos conocidos como, “Dispositivos de Disipación de Energía”. En esta categoría encontramos el “Disipador de Fluido Viscoso” (Hart y Wong, 2000).

El propósito de emplear Disipadores de Energía es tratar de que la estructura tenga un mejor comportamiento frente a un evento sísmico, asegurando que esta se comporte dentro del rango lineal y así poder limitar las deformaciones inelásticas y la formación de rótulas plásticas, impidiendo el daño estructural.

### **3.3.1. Funcionamiento**

Estos dispositivos son básicamente recipientes llenos de un fluido que deben mantenerse en condiciones de servicio durante el período de vida de la estructura a la que sirve. A diferencia de otros tipos de dispositivos, no aportan mayor rigidez ni resistencia al sistema. Además no añaden fuerzas al sistema debido a su comportamiento fuera de fase con la estructura.

El comportamiento fuera de fase con la estructura puede explicarse recurriendo al comportamiento de un fluido viscoso, cuya fuerza resistente aumenta al aumentar la velocidad con la que es comprimida. Esta propiedad origina que la velocidad de la estructura sea cero cuando alcance su deformación máxima y por lo tanto la fuerza generada por el dispositivo, por deberse al fluido viscoso, es también cero.

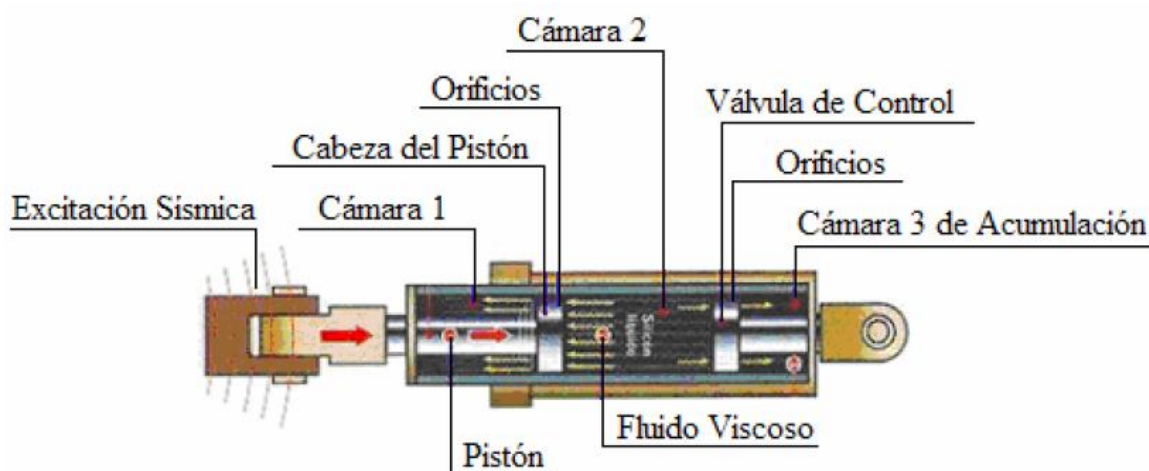


**Figura 3.5** Idealización del comportamiento de un pórtico ante una excitación sísmica  
(Donde: F y  $\Delta$  son la fuerza y el desplazamiento relativo del dispositivo)  
(Díaz la Rosa, 2014)

Podemos concluir entonces que estos dispositivos tienen la propiedad de disminuir simultáneamente las deformaciones y los esfuerzos en la estructura. En la literatura especializada este comportamiento se denomina: “fuera de fase”.

Uno de los mecanismos más eficientes para añadir capacidad de disipación de energía a una estructura es mediante el uso de Dispositivos de Fluido Viscoso. Como se muestra en la Figura 3.5, este mecanismo disipa energía transfiriendo un fluido a través de un orificio, produciendo una presión de amortiguamiento.

Por muchos años, los Disipadores de Fluido Viscoso han sido utilizados en muchas aplicaciones, entre los que se encuentra el control de vibraciones en sistemas aeroespaciales y de defensa en los Estados Unidos, donde fue evaluado con éxito durante muchas décadas. Uno de los usos que ha sido bien documentado fue hecho por instituciones militares para examinar su uso en cañones de alto calibre. Básicamente un amortiguador viscoso es comparable a los amortiguadores utilizados en los automóviles, con la diferencia que los utilizados en estructuras operan en un rango de fuerzas mucho mayor y son construidos en acero inoxidable y otros materiales extremadamente duraderos los cuales tienen una duración de por lo menos 40 años (Arroyo, 2004).

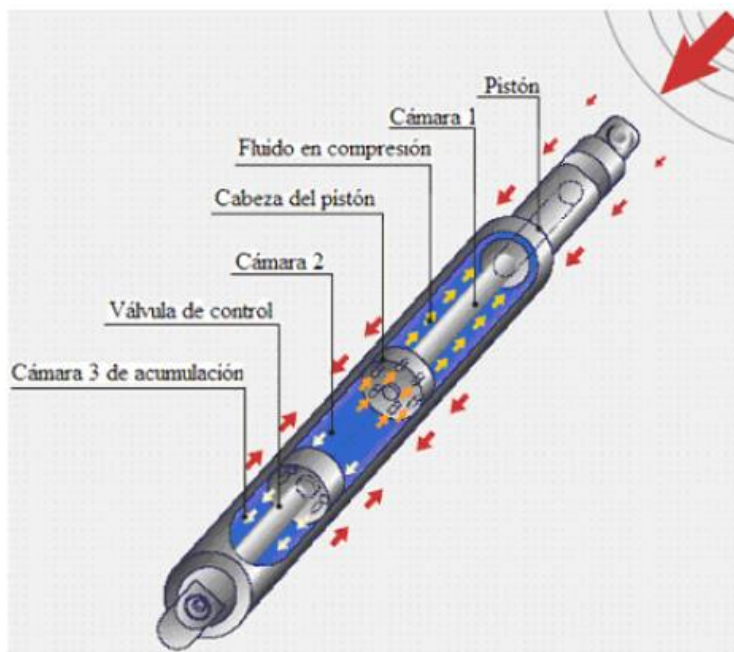


**Figura 3.6** Disipador de Energía de Fluido Viscoso.  
(Taylor, 2004)

El amortiguador de fluido viscoso, que actúa como un dispositivo disipador de energía en las estructuras, consiste básicamente en un cilindro de acero inoxidable de alta resistencia, el cual contiene un fluido de alta viscosidad, resistente al fuego (no inflamable y no combustible), estable a los cambios de temperatura y a largos periodos de tiempo. En la actualidad, los únicos fluidos que poseen todas estas características son los que pertenecen a la familia de las siliconas (Taylor, 2004).

Según la Figura 3.6 el cilindro en su interior posee un pistón (también de acero de alta resistencia e inoxidable), que se compone de una vara que en su borde interior tiene una cabeza (“cabeza del pistón”) con orificios. La cabeza del pistón divide el interior del cilindro en dos cavidades llamadas “cámaras”. Cuando existe un desplazamiento del pistón a altas velocidades dentro del cilindro debido a una excitación, este provoca el paso de fluido de una cámara a otra, lo que produce una presión diferencial y esta a su vez origina la fuerza de amortiguamiento.

Además el cilindro en su interior posee una tercera cámara, de “Acumulación”, que su principal función es permitir el desplazamiento de la vara del pistón, desde adentro hacia fuera del amortiguador durante la excitación y compensar la expansión y contracción térmica del fluido.



**Figura 3.7** Funcionamiento de un Disipador de Fluido Viscoso  
(Taylor, 2004)

La actividad sísmica, presiona el pistón hacia el cilindro comprimiendo el fluido del interior hacia la cámara 2, luego este pasa de regreso de la cámara 1 a la cámara 2, a través de las perforaciones y se iguala la presión, que es la que provoca la fuerza de amortiguamiento. Estas perforaciones se gradúan en tamaño y cantidad, para proporcionar la respuesta deseada. Para prever un efecto de rebote, la válvula de control libera parte del fluido a la cámara 3 de acumulación.



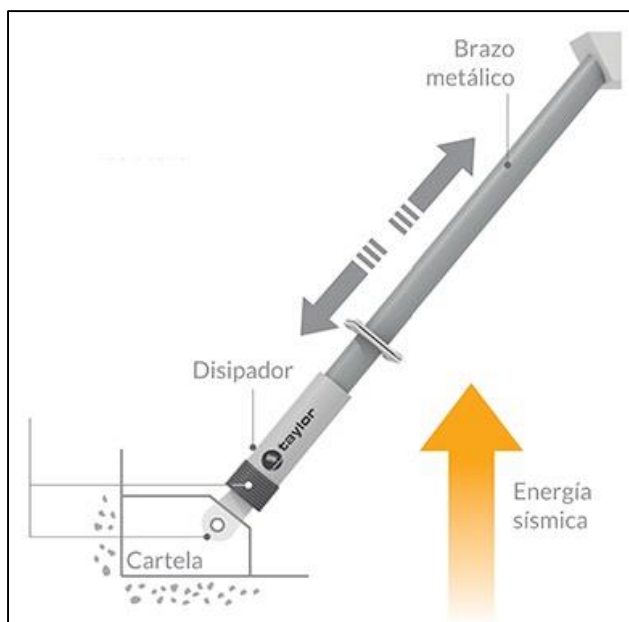
Una de las diferencias de los Amortiguadores de Fluido Viscoso, con respecto a otros dispositivos disipadores de energía utilizados en estructuras, es que estos son estables y funcionales en un gran rango de temperatura. Por ejemplo los dispositivos Viscoelásticos al estar compuesto de caucho estos se ven muy afectados a los cambios térmicos y su comportamiento es diferente según la temperatura en que se encuentra operando. Las pruebas que se le han hecho a los Amortiguadores de Fluido Viscoso, han demostrado que su funcionamiento no presenta grandes diferencias en un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .

Otra característica que poseen los Amortiguadores de Fluido Viscoso y que lo hacen ser diferentes a otros dispositivos, es que su comportamiento depende sólo de la velocidad y no del desplazamiento.

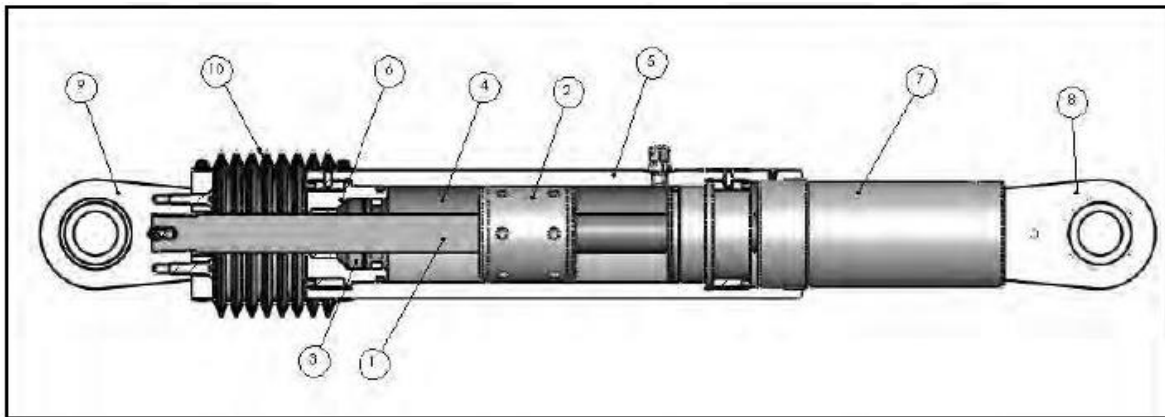
### 3.3.2. Esquema del dispositivo

Los amortiguadores fluido viscosos están clasificados como elementos pasivos de disipación de energía porque necesitan de una excitación externa, en este caso de velocidad, para iniciar su desplazamiento interno. La disipación se produce por la conversión de energía cinética en calor.

En la Figura 3.7 se muestra un esquema de un disipador y descripción de sus partes principales:



**Figura 3.8** Comportamiento externo de un disipador de fluido viscoso



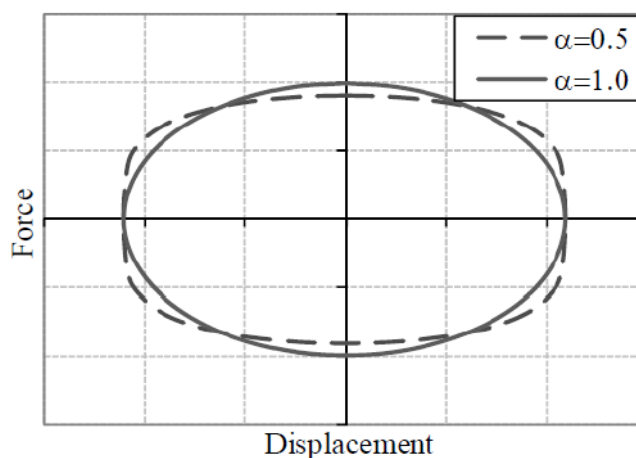
**Figura 3.9** Esquema general de un Disipador de Energía TAYLOR DEVICES INC".  
(Taylor, 2004)

Donde:

- 1) Vástago de acero inoxidable.
- 2) Cabeza del pistón de acero sólido o de bronce.
- 3) Sellos / rodamientos de sello, juntas dinámicas.
- 4) Fluido viscoso, silicona incompresible.
- 5) Cilindro con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
- 6) Tapa con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
- 7) Extender, acero al carbono forjado en aluminio con protección contra la corrosión.
- 8) Horquilla final con tratamiento térmico de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
- 9) Cojinete esférico forjado con aleación de acero de calidad aeronáutica.
- 10) Fuelle, nylon reforzado de inicio de neopreno.

### 3.3.3. Comportamiento fuerza-desplazamiento

A continuación se muestra la Figura 3.8 donde se expone la relación fuerza-desplazamiento para el sistema de amortiguación fluido viscoso extraída del documento “Probabilistic Seismic Risk Identification of steel Buildings with Viscous Dampers”:



**Figura 3.10** Relación fuerza-Desplazamiento para exponentes de velocidad de 1 y 0.5.  
(Guevara y Torres, 2012)

La curva que describe el comportamiento Histerético de un disipador de energía fluido-viscoso es generalmente de geometría elíptica, alcanzando los valores máximos de fuerza para desplazamientos nulos.

### 3.3.4. Respuesta del disipador

Imagine un Dispositivo de Fluido Viscoso instalado en una estructura, como el de la figura 3.17. Esta al recibir una excitación debido a una carga sísmica se producirá desplazamientos relativos entre los pisos, los que provocarán movimientos, velocidades y aceleraciones diferentes de los extremos del dispositivo. Esta diferencia de movimiento producirá en el amortiguador una fuerza y una fuente de disipación de energía. La fuerza inducida a la estructura por el amortiguador en cada uno de los puntos de conexión del dispositivo está dada por la ecuación 3.3 y la energía disipada por el amortiguador debido a dicha fuerza está dada por la ecuación 3.4.

La energía mecánica disipada por el dispositivo causa calor en las partes mecánicas y fluidas del amortiguador, esta energía calorífica es transferida al medio ambiente, usualmente por convección y conducción.

$$F_{md} = C_{md}\dot{x}^\eta \quad (3.3)$$

$$E_D = \int |F_{dm}| dx \quad (3.4)$$

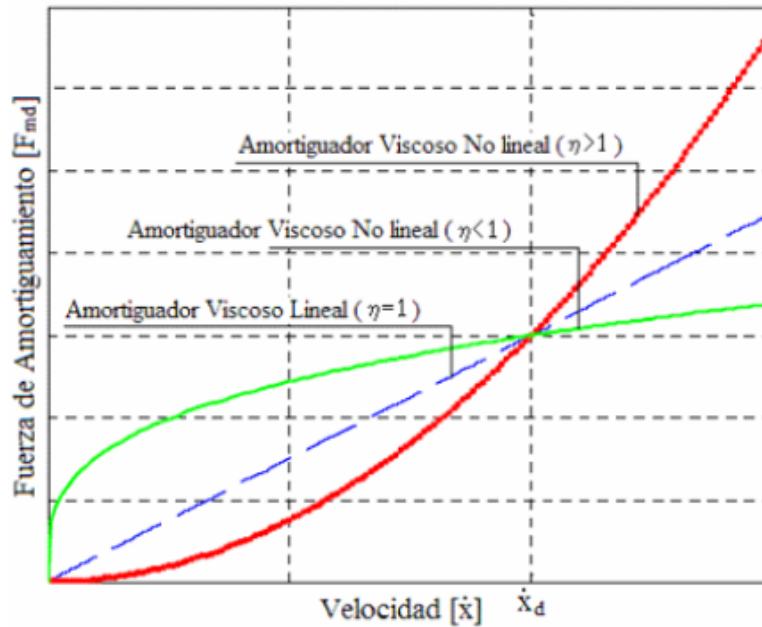
Donde:

- $F_{md}$ : Fuerza de amortiguamiento del dispositivo.
- $C_{md}$ : Coeficiente de amortiguamiento del dispositivo.
- $x$ : Desplazamiento relativo entre los extremos del dispositivo.
- $\eta$ : Exponente de la velocidad,  $0,25 < \eta < 2,0$ .
- $\dot{x}$ : Es la velocidad relativa entre los extremos del amortiguador.

Cuando el exponente de la velocidad (“ $\eta$ ”) toma el valor unitario, se tendrá un dispositivo con una fuerza lineal proporcional a la velocidad, por lo que se le llamará “Disipador Viscoso Lineal”. Cuando el valor de “ $\eta$ ” toma un valor distinto de uno, al dispositivo se le llamará “Disipador Viscoso No lineal”.

En la figura 3.9 se muestra la relación fuerza velocidad del disipador de fluido viscoso con tres tipos de  $n$ . En esta figura se puede apreciar la eficiencia del Disipador Viscoso no lineal ( $\eta < 1$ ), para pequeñas velocidades relativas puede desarrollar una mayor fuerza de amortiguamiento que los otros tipos de Disipadores ( $\eta = 1$  y  $\eta > 1$ ).

Para el Disipador Viscoso No lineal utilizados en la práctica, el valor de “ $\eta$ ” está en un rango de 0,3 a 1,0. Los valores de “ $\eta$ ” más comunes en el diseño de amortiguadores para edificios y puentes contra la acción sísmica, están en un rango de 0,25 a 0,5.



**Figura 3.11** Fuerza por amortiguamiento vs velocidad.  
(Cundumi, 2005)

El Disipador de Energía de Fluido Viscoso tiene la capacidad única de reducir los desplazamientos y no adicionar esfuerzos a la estructura, cuando está sujeta a una excitación sísmica. Esto se debe porque en este dispositivo, la fuerza de salida varía sólo con la velocidad, proporcionando una respuesta que está intrínsecamente desfasada con las tensiones de la estructura flexionada.

En el caso de otros dispositivos como los amortiguadores de fricción, plastificación y de caucho (Viscoelásticos), si bien son eficientes para adicionar amortiguamiento a la estructura, pero a cambio de esto, también le agregan esfuerzos, es decir, estos dispositivos de amortiguamiento disminuirán las deflexiones en una estructura, pero a expensas de aumentar los esfuerzos en esta. Esto se explica, debido a que la fuerza de amortiguamiento de estos dispositivos es dependiente de otros parámetros además de la velocidad.

La respuesta desfasada (ver Figura 3.10) que es única de los Dispositivos de Fluido Viscoso puede comprenderse fácilmente considerando un edificio moviéndose lateralmente debido a una excitación sinusoidal (Taylor, 2004) dado por las siguientes ecuaciones:

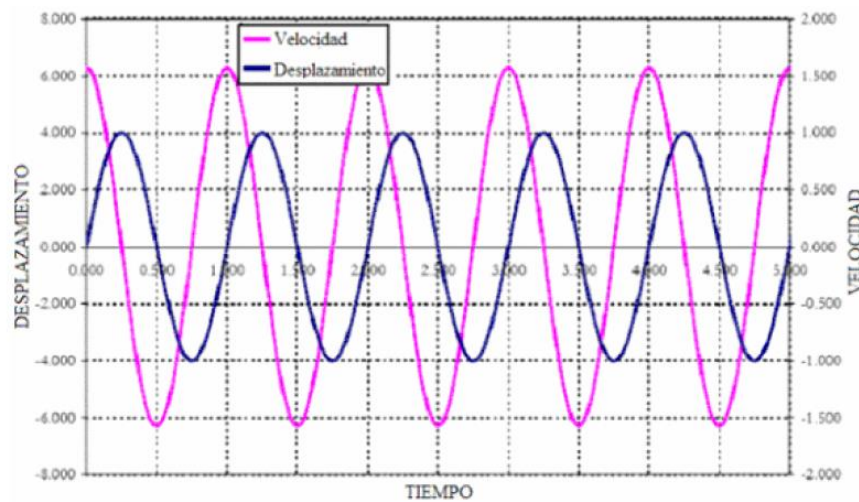
$$x(t) = x_0 \sin \omega t \quad (3.5)$$

$$\dot{x}(t) = x_0 \omega \cos \omega t \quad (3.6)$$

$$F_{md} = C_{md} x_0 \omega \cos \omega t \quad (3.7)$$

Donde:

- $x_0$ : Amplitud de la excitación.
- $\omega$ : Frecuencia de la excitación
- $F_{md}$ : Fuerza de amortiguamiento para un dispositivo lineal.



**Figura 3.12** Desfase de la Velocidad con respecto al Desplazamiento (Kelly, 2001)

El esfuerzo en las columnas es máximo cuando el edificio está en su máxima posición de deflexión (desplazamiento máximo) con respecto a su posición de equilibrio. Éste es el instante donde la estructura comienza a cambiar de dirección. Si agregamos un Dispositivo de Fluido Viscoso al edificio, la fuerza de amortiguamiento en el dispositivo se reducirá a cero en este punto de desplazamiento máximo, debido a que en este instante la velocidad es igual a cero.

Mientras que la máxima fuerza de amortiguamiento ocurre cuando la velocidad es máxima, o sea, cuando el desplazamiento de las columnas es igual a cero (instante donde el edificio se encuentra el punto de equilibrio), este es también el instante donde los esfuerzos en las columnas es el mínimo. Esta respuesta desfasada, es la característica más importante que poseen los Dispositivos de Fluido Viscoso y lo hacen diferente a los otros dispositivos disipadores de energía utilizados en estructuras.

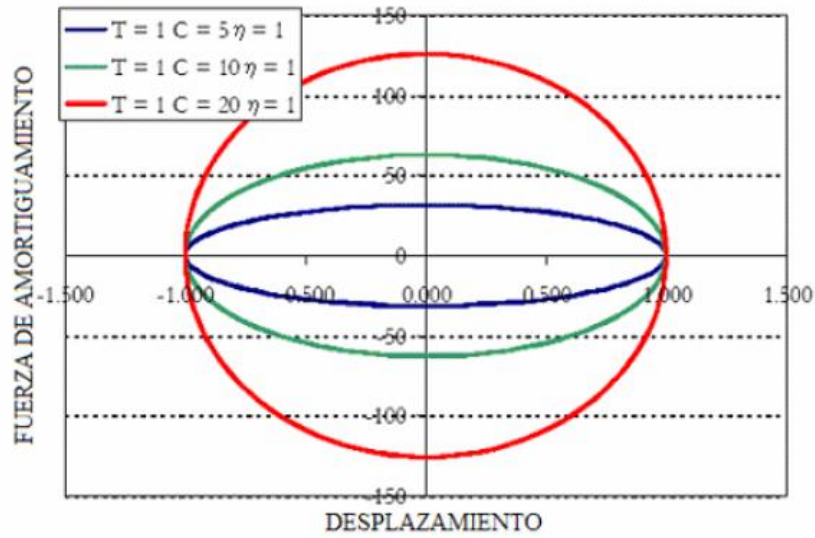
En la ecuación 3.3, los parámetros que definen la fuerza de amortiguamiento ( $F_{md}$ ) del dispositivo son el coeficiente  $C_{md}$ , el exponente  $\eta$  y la velocidad relativa  $\dot{x}$ . El efecto al variar estos parámetros sobre las características del régimen de carga, se ilustra a continuación para una excitación sinusoidal (ecuación 3.5).

La Figura 3.11 muestra el efecto de la variación de  $C_{md}$ . Se espera de la ecuación 3.1, que si la fuerza de amortiguamiento es lineal con  $C_{md}$ . Entonces si  $C_{md}$  es el doble, la fuerza de amortiguamiento  $F_{md}$  será el doble para la misma velocidad. La forma de la curva fuerza v/s desplazamiento es elíptica.

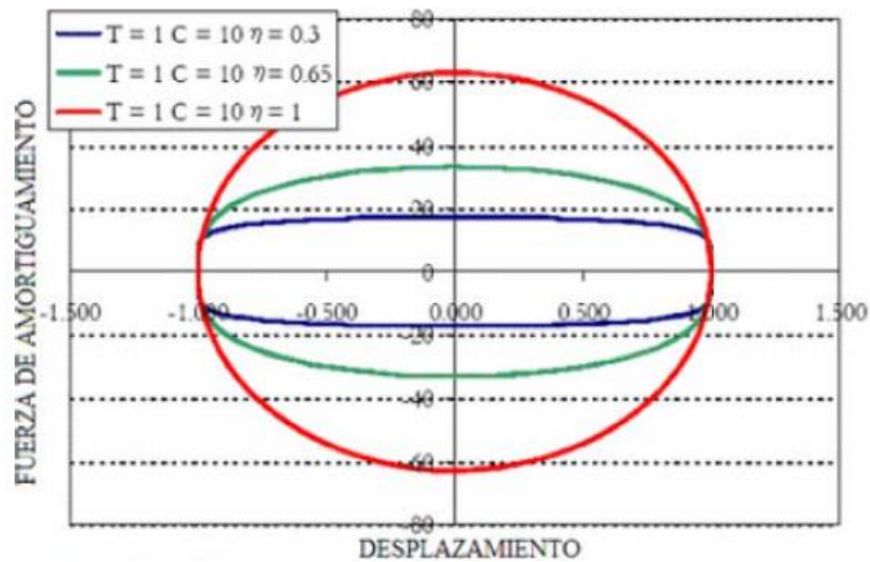
En la Figura 3.12 se mantiene constante el coeficiente de amortiguamiento  $C_{md}$  y se varía el exponente de la velocidad ( $\eta$ ) en un rango de 0,3 a 1,0 (rango de los valores de  $\eta$  usados en la práctica para dispositivos en estructuras). Al reducir “ $\eta$ ” de 1,0 a 0,3 la fuerza de amortiguamiento  $F_{md}$  se reduce y tiende de su forma elíptica a una forma más rectangular.

En la Figura 3.13, también se varía  $\eta$  pero el coeficiente  $C_{md}$  se ajusta tal que la fuerza de amortiguamiento sea siempre la misma. Para mantener la fuerza de amortiguamiento se prueba con  $\eta=1$  cuando  $\eta$  es reducida a 0,3 el coeficiente de amortiguamiento debe incrementarse de 5,5 a 20. Esto muestra claramente el cambio de forma de la curva fuerza v/s desplazamiento de elíptica a rectangular al reducir el exponente  $\eta$ .

La Figura 3.14 muestra, el efecto de la velocidad límite (velocidad máxima), que limita la fuerza del amortiguador a 50 unidades,  $C_{md}$  se incrementa de 5 a 20 (ver Figura 3.11), la misma curva sin la velocidad límite). El valor de  $C_{md}$  incrementa el límite truncando la elipse. El efecto es similar reduciendo el exponente, en que la forma de la elipse se vuelve más rectangular.

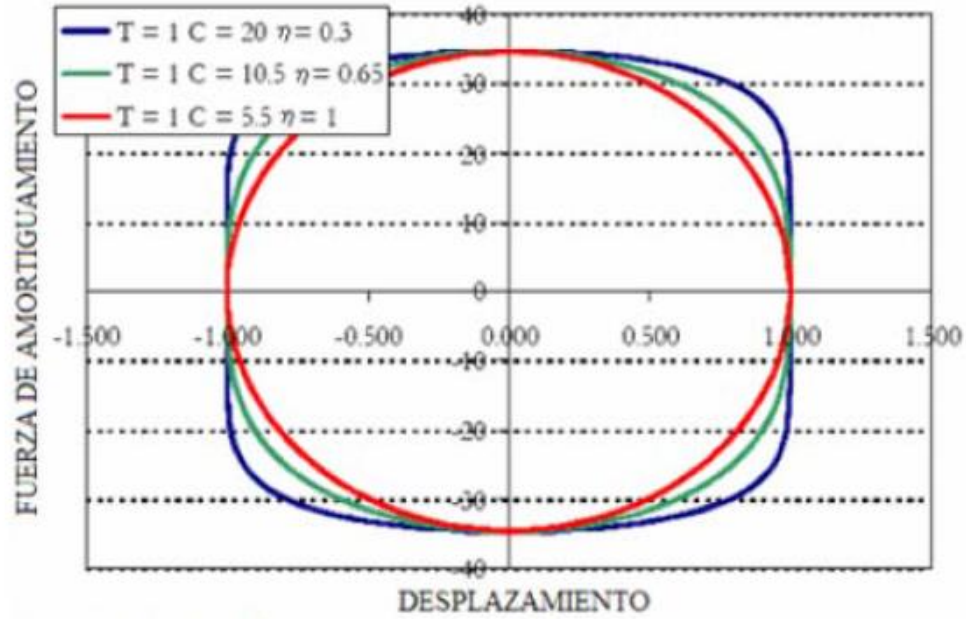


**Figura 3.13** Respuesta de un disipador de Energia de Fluido Viscoso lineal, para diferentes valores de la constante de amortiguamiento  $C_{md}$ . (Kelly, 2001)

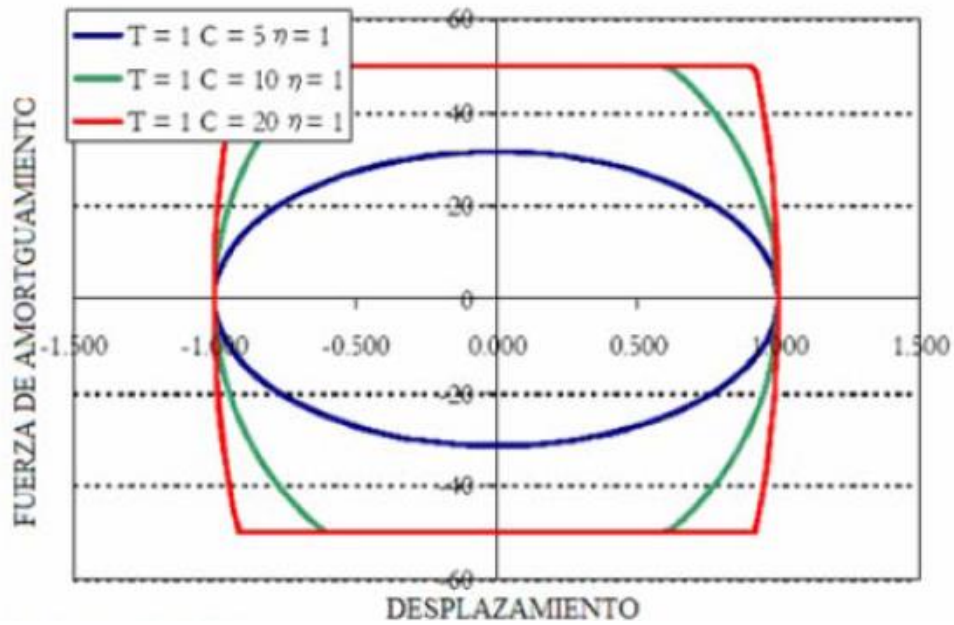


**Figura 3.14** Respuesta de un disipador de Energia de Fluido Viscoso no Lineal, para diferentes valores de “ $\eta$ .” y con un mismo valor de  $C_{md}$ . (Kelly, 2001)





**Figura 3.15** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso no Lineal, para diferentes valores de “ $\eta$ .” y  $C_{md}$  tal que la fuerza de salida sea la misma.  
(Kelly, 2001)



**Figura 3.16** Respuesta de un disipador de Energía de Fluido Viscoso Lineal, considerando una velocidad límite.  
(Kelly, 2001)

### **3.4. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS DISIPADORES.**

La ubicación, disposición y número de amortiguadores en el edificio influyen significativamente en la efectividad del sistema de amortiguamiento. Diversas investigaciones en torno a ello han dado como resultado recomendaciones generales de ubicación como la búsqueda de simetría.

En el caso de amortiguadores fluido viscosos, se sugiere ubicarlos inicialmente en las zonas de velocidades máximas y en los entresijos que experimentan mayor desplazamiento relativo. La ubicación óptima de los amortiguadores se logra mediante un proceso iterativo.

Se recomienda ubicar los dispositivos en los pórticos extremos y estos deberán ser constantes en toda la altura. La cantidad de dispositivos dispuestos en la dirección “X” e “Y” deberá ser semejante y su ubicación, se recomienda, deberá ser simétrica en planta.

También es importante señalar que el uso del edificio y la arquitectura del mismo son factores que influyen significativamente en la ubicación de los amortiguadores. Por esa razón todos los profesionales envueltos en la construcción y diseño de la edificación deben llegar a un acuerdo en cuanto a la ubicación de los amortiguadores, de manera que cumpla con todos los requerimientos de diseño.

En la industria de la construcción, los Amortiguadores de Fluido Viscoso se utilizan para reducir las cargas debido a una excitación sísmica, estos dispositivos se ubican en la estructura en forma estratégica, tal que se activen durante el desplazamiento relativo entre dos pisos contiguos del edificio excitado. La instalación puede hacerse de varias maneras:

1) Colocando los amortiguadores horizontalmente, para ligar de manera flexible el vértice de unión de las diagonales en forma de “V” invertida (ver Figura 3.15), fijada en un piso inferior, con el nivel inmediato superior.

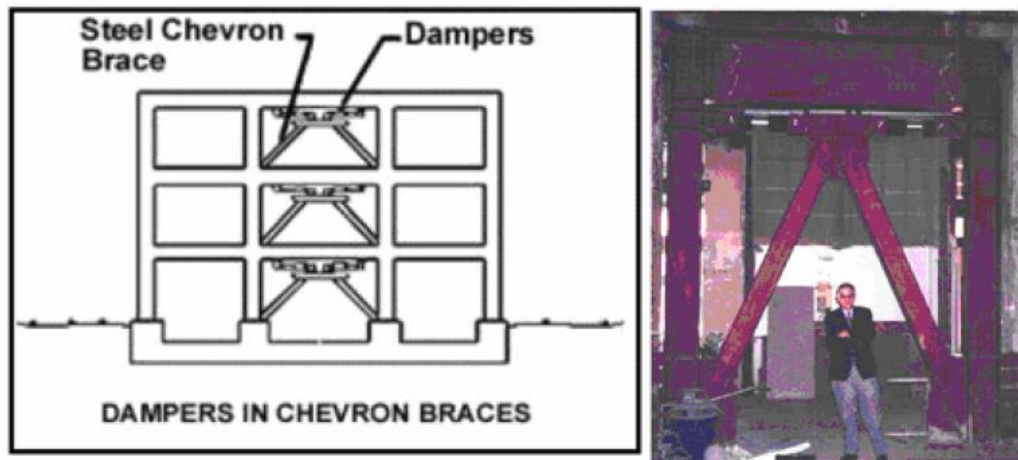
2) Colocando los amortiguadores como una diagonal inclinada, conectando las dos uniones viga columna contrarias de dos pisos continuos (ver Figura 3.16 - 3.18).

3) Colocando los amortiguadores en forma horizontal, en la base del edificio trabajando en conjunto con el sistema de aislamiento basal (ver Figura 3.19).

### 3.4.1. Disposición Chevron

Esta disposición se caracteriza por disponer al amortiguador en posición horizontal, paralelo al plano del techo. De este modo se logra absorber las fuerzas horizontales directamente (Figura 3.16).

Esta disposición genera un mejor desempeño de la estructura con respecto a la disposición diagonal porque resulta en una mayor reducción de derivas.



**Figura 3.17** Disposición Chevron  
(Hart y Wong, 2000)

Entre las desventajas de esta disposición se encuentra el sobreesfuerzo generado en la parte intermedia de la viga cercana al amortiguador, un efecto de compresión y tracción que debe ser controlado por medio de planchas, anclajes y un refuerzo adicional en la viga (Figura 3.17)



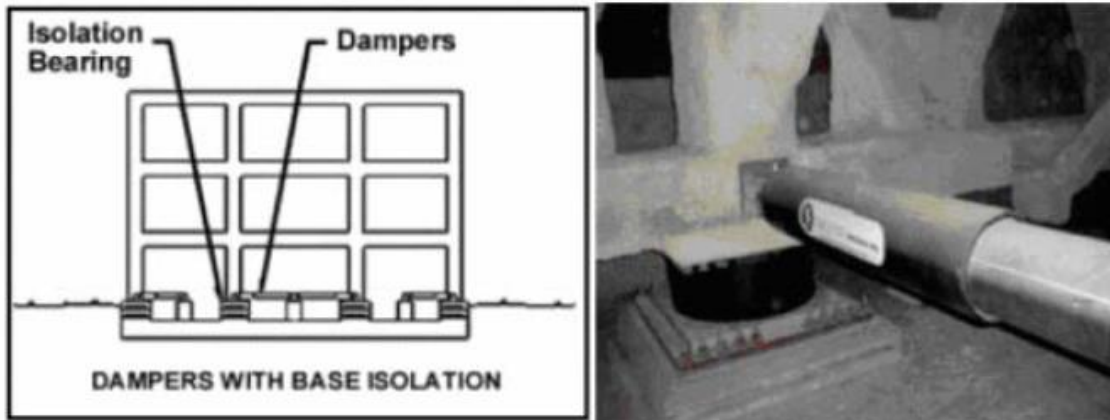
**Figura 3.18** Refuerzo adicional que se emplea en la disposición Chevron



**Figura 3.19** Templo Mormón, Santiago de Chile.

### **Disposición Horizontal**

Colocando los amortiguadores en forma horizontal, en la base del edificio trabajando en conjunto con el sistema de aislamiento basal.



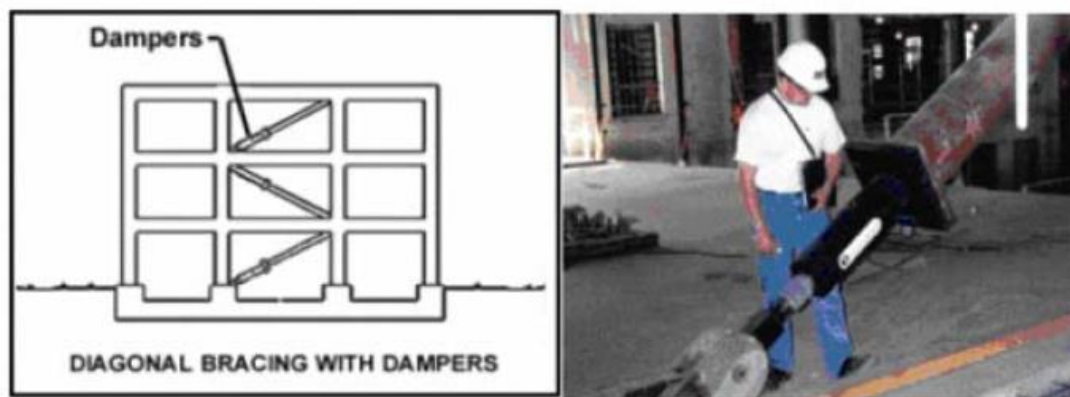
**Figura 3.18** Disipadores Viscosos, ubicados en la base del edificio.  
Fuente: Hart y Wong, 2000

### 3.4.2. Disposición Diagonal

Esta disposición se caracteriza por orientar el dispositivo en el ángulo diagonal del pórtico donde se ubicará. Por tanto, solamente la componente horizontal participa en la absorción de fuerzas horizontales.

La principal ventaja que presenta esta disposición es que no se requiere de ningún refuerzo adicional al pórtico que lo contiene, ya que los nudos pueden diseñarse para los esfuerzos añadidos de los amortiguadores.

Por otro lado, se suele necesitar un menor número de dispositivos que se utilizarían con otra disposición para el mismo nivel de desempeño objetivo.



**Figura 3.19** Disipadores Viscosos, ubicados en la diagonal.  
(Hart y Wong, 2000)



**Figura 3.20** Nueva sede del Banco de la Nación.

Comparativo Chevron vs Diagonal			
Ventajas	Mejor control de derivas	Mejor solicitud de refuerzo adicional	Mejor cantidad de dispositivos
Disposición	CHEVRON	DIAGONAL	DIAGONAL

**Tabla 3.1** Comparación entre las disposiciones Chevron y Diagonal.  
(Guevara y Torres, 2012)

### 3.5. ECUACIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO.

La ecuación simplificada de estos dispositivos es la siguiente:

$$F = CV^{\alpha} \quad (3.8)$$

Dónde:

- F: Fuerza en el disipador.
- C: Constante de Amortiguamiento.
- V: Velocidad relativa en el amortiguador.
- $\alpha$ : Coeficiente que varía entre 0.4 y 0.6 para edificaciones.



### 3.5.1. Coeficiente de amortiguamiento “C”

Es la constante de amortiguamiento del dispositivo, y está relacionado a las propiedades del fluido inmerso dentro del dispositivo. Debe ser definido por el proyectista de acuerdo al amortiguamiento objetivo.

Su cálculo parte de una estimación que depende directamente del tipo de disipador utilizado (lineal o no lineal) y del amortiguamiento objetivo. A continuación se exponen dichas expresiones:

#### a. Amortiguadores lineales

Un valor inicial estimado del coeficiente de amortiguamiento “C” para dispositivos lineales puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$\beta_{visc.} = \frac{T \sum_j c_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (3.9)$$

Donde:

- $\beta_{visc.}$ : Amortiguamiento Viscoso Objetivo.
- T: Período de la estructura.
- $\phi_i$ : Modo de vibración del periodo fundamental.
- $\phi_{rj}$ : Desplazamiento Relativo del modo de vibración fundamental.
- $\theta_j$ : Ángulo de inclinación del disipador.
- $m_i$ : Masa de entrepiso.

Esta fórmula considera un coeficiente de amortiguamiento constante para todos los dispositivos. Sin embargo, se conoce experimentalmente que la eficiencia de los amortiguadores en los pisos superiores es menor que la que se presenta en los niveles inferiores debido a la importancia de los primeros modos.

#### b. Amortiguadores no lineales

Un valor inicial estimado del coeficiente de amortiguamiento “C” para dispositivos no lineales puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (3.10)$$

Donde:

- $\lambda$ : Valores tabulados en el FEMA 273 a partir de la siguiente ecuación:

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+\alpha/2)}{\Gamma(2+\alpha)} \quad (3.11)$$

- $\Gamma$ : Función gamma.
- $A$ : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental de la estructura.
- $\omega$ : Frecuencia angular fundamental de la estructura ( $\omega = 2\pi f$ ).
- $\alpha$ : Exponente de velocidad.

El rango del valor de  $C$  dependerá de las condiciones de la estructura tales como: periodo, regularidad, número de niveles y otros.

### 3.5.2. Exponente de velocidad “ $\alpha$ ”

El exponente de velocidad “ $\alpha$ ” describe el comportamiento histerético de los disipadores; en otras palabras propone la disposición de los lazos histeréticos. Este exponente define la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad.

Para el caso de edificaciones se recomienda el uso de  $\alpha < 1$ , típico de un disipador no lineal. Cuando el amortiguador cumple esta condición, logra minimizar golpes de velocidades con una baja fuerza en el amortiguador.

Para amortiguadores lineales el valor de  $\alpha$  es igual a 1. En estos dispositivos la fuerza es proporcional a la velocidad relativa, esto provoca un comportamiento fuera de fase:

“Fuerza máxima en la estructura” → “Fuerza mínima en el disipador”.

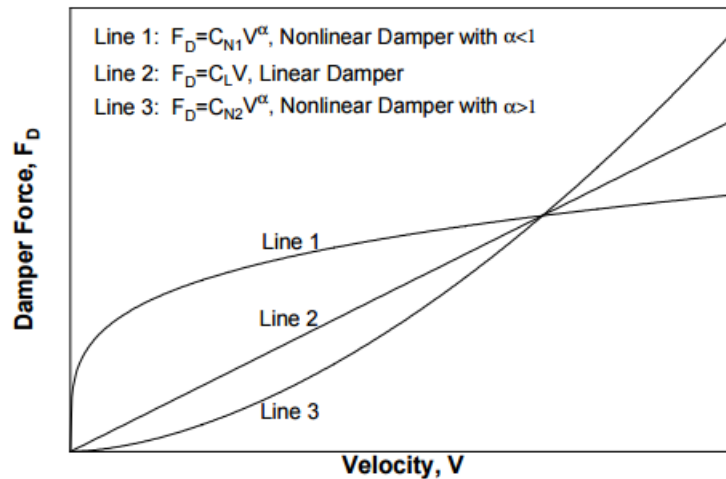
Los amortiguadores con  $\alpha$  mayor 1 no son comúnmente utilizados en edificaciones porque se necesitan grandes velocidades para incrementar significativamente la fuerza en el amortiguador.

La Figura 3.19 Ilustra el comportamiento en el amortiguador al variar el valor de  $\alpha$ .



Demuestra la eficiencia de los amortiguadores no-lineales para aminorar altos shocks de velocidad en comparación con los amortiguadores lineales. Para bajas velocidades relativas, los amortiguadores no lineales reaccionan con una mayor fuerza de amortiguamiento.

Según los especialistas de MIYAMOTO INTERNATIONAL se recomienda utilizar valores de  $\alpha$  entre 0.4 y 0.6 para estructuras comunes.



**Figura 3.21** Fuerza por amortiguamiento vs velocidad.  
(Jenn-Shin Hwang).

### 3.5.3. Rigidez del brazo metálico “K”

La rigidez del dispositivo es la rigidez del brazo metálico que lo conecta a la estructura principal. Esto debido a que la rigidez axial del dispositivo es mucho menor a la del brazo, cuyo valor se determina con la siguiente ecuación:

$$K = EA/L \quad (3.12)$$

Donde:

- E: Coeficiente de Elasticidad del Acero.
- A: Área de la sección del brazo metálico.
- L: Longitud del brazo metálico.

Es muy común utilizar perfiles HSS o tipo PIPE por razones de estética y por su facilidad de instalación.

Los especialistas de Miyamoto International recomiendan iniciar con el proceso de iteración planteando un valor de 2000 kips/in, el cual será posteriormente afinado.

### **3.6. RECOMENDACIONES SOBRE EL USO DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO EN EDIFICACIONES.**

El presente acápite busca recomendar el uso de este moderno sistema de protección sísmica por amortiguamiento fluido-visco en función de las variables más importantes dentro de un proyecto de edificaciones.

#### **3.6.1. En función del tipo de sistema estructural**

La capacidad de disipar energía de estos dispositivos se incrementa conforme el desplazamiento relativo en su interior aumenta. Estos dispositivos permiten aquellos desplazamiento gracias al fluido que llevan en el interior el cual se activa una vez que inicia el movimiento que es el que somete la estructura a aceleraciones generando así altas velocidades en los amortiguadores.

Este comportamiento nos lleva a la conclusión de que la conveniencia en el uso de estos dispositivos depende exclusivamente de la flexibilidad o rigidez de la estructura.

Así un sistema de muros tendría dispositivos destinados a controlar el daño con efectividad únicamente en las primeras etapas de agrietamiento, mientras que un sistema de pórticos o dual tendría la ventaja de controlar las derivas de entrepiso y el daño estructural generados durante todo el proceso.

#### **3.6.2. En función del nivel de desempeño deseado**

Para este punto de vista se propone comparar el sistema de amortiguamiento con respecto a otro igualmente moderno pero con un enfoque diferente, se trata del sistema de aislamiento sísmico.

El capítulo 9 del FEMA 274 muestra algunas recomendaciones en el uso de ambos sistemas de acuerdo a los diversos niveles de desempeño deseados. Por ejemplo, para los niveles de desempeño: Operativo, Inmediatamente ocupable y resguardo de la vida, los amortiguadores

son especialmente útiles. Para el nivel cerca al colapso es mejor recurrir a otros sistemas de reforzamiento o a la combinación de ambos.

A continuación se describe una adaptación al castellano de la tabla de referencia publicada en el FEMA 274.

Desempeño		Aislamiento en la base	Amortiguamiento
Nivel	Rango		
Operativo	Control de daño	Muy recomendable	Recomendable
Inmediatamente ocupable	Control de daño	Recomendable	Recomendable
Resguardo de vida	Seguridad al límite	Limitado	Recomendable
Cerca al colapso	Seguridad al límite	No recomendado	Limitado

**Tabla 3.2** Recomendación de la aplicación del sistema de amortiguamiento y de aislamiento de la base según el nivel de desempeño deseado.

### 3.6.3. En función de la edad de la estructura

En muchos países se usan estos dispositivos con fines de reforzamiento de estructuras existentes. Ciertamente esta es una opción atractiva porque se mejora el desempeño de la estructura sin adicionar elementos rigidizantes tales como muros de concreto armado y arriostres metálicos.

Adicionalmente su instalación demanda menores implicancias porque generalmente son adosadas a los pórticos. Aquí reside una gran ventaja en comparación con los sistemas de aislamiento sísmico.

En edificios nuevos, los amortiguadores han sido usados para controlar la excesiva vibración que pudiera ocasionar daño en los elementos no estructurales como equipos y/o artefactos. Inclusive su aplicación nos permite reducir secciones del casco estructural logrando así una reducción en el costo total del proyecto.

#### **3.6.4. En función de la estética o arquitectura del proyecto**

Debido a que estos dispositivos son generalmente integrados dentro del marco de un pórtico, pueden esconderse fácilmente detrás de muros de drywall y así tener un mínimo efecto en la integridad arquitectónica del edificio.

A pesar de esto cabe mencionar que algunos expertos del tema consideran una mejora arquitectónica la exposición de los amortiguadores, inclusive un incremento considerable del valor del proyecto.

#### **3.6.5. En función del mantenimiento o vida útil**

Los dispositivos de fluido-viscoso TAYLOR DEVICES no requieren de ningún tipo de mantenimiento inclusive luego de algún evento sísmico. Esta afirmación cuenta con el respaldo de la industria militar que participó directamente en la investigación, inclusive existen muchas edificaciones a nivel mundial que demuestran la veracidad de esta propiedad.

#### **3.6.6. En función del costo y las condiciones del proyecto**

El costo del análisis, diseño, fabricación e instalación de los amortiguadores en una estructura está en función de los siguientes factores:

- ✓ Movimiento del suelo y condiciones de suelo.
- ✓ Tipo de estructura.
- ✓ Desempeño deseado.
- ✓ Número de amortiguadores.
- ✓ Capacidad de cada disipador en fuerza, desplazamiento y velocidad.
- ✓ Refuerzo requerido de elementos estructurales existentes, conexiones o cimentaciones.
- ✓ Detalles de construcción e instalación.
- ✓ Interrupción en la ocupación del edificio durante la construcción o reforzamiento.

Se recomienda contar con especialistas en todos los campos de manera que pueda controlarse a la mayor medida todos estos factores.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que el proyectista encargado debe contar con dos importantes requerimientos en función de minimizar los costos y seleccionar adecuadamente un amortiguador. El primero, un entendimiento claro de las propiedades de este sistema y segundo, un racional proceso de diseño teniendo muy en claro los objetivos de diseño establecidos.

### **3.6.7. En función de la importancia de la estructura**

En estructuras importantes y esenciales, el costo relativo de implementar un sistema de amortiguamiento es relativamente bajo en comparación con los gastos que se tendrían que asumir en reparación estructural después del evento sísmico y los gastos originados por los daños del contenido del edificio.

La aplicación de sistemas modernos de amortiguamiento es un valor agregado también desde el punto de vista comercial para aquellos edificios destinados a oficinas o departamentos. El costo de venta de una oficina o departamento en un edificio con disipadores de energía siempre será superior al de un edificio convencional.

### **3.6.8. En función del tipo de dispositivo seleccionado**

Si se desea incrementar el amortiguamiento para movimientos sísmicos desde pequeños hasta severos, entonces los dispositivos visco elásticos y fluido viscosos son apropiados porque estos disipan energía en todos los niveles de movimiento.

Dispositivos histeréticos y de fricción requieren de suficiente movimiento relativo para empezar su acción de disipación.

Si se desea aumentar la resistencia y rigidez lateral en un edificio, entonces el uso de dispositivos visco elásticos o histeréticos es recomendable.

## **3.7. FABRICANTES**

El principal fabricante de estos dispositivos es la marca TAYLOR DEVICES INC, de origen estadounidense y líder mundial desde 1954 en la producción de elementos de absorción de shocks por medio de la compresión y control de fluidos que permiten la disipación de energía. La empresa desarrolló y patentó conceptos tales como el control del fluido a través de orificios,

la compresión dinámica de fluidos, los amortiguadores auto ajustables y el resorte líquido desarrollando productos para el sector comercial, militar e industrial.

La principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a solicitaciones de carga.

Actualmete el distribuidor de la marca Taylor es la empresa CDV Perú, que ofrece aparte de los disipadores sísmicos viscosos, los aisladores sísmicos representados en este caso por la marca DIS (Dinamic Isolation Systems).

Así mismo Prisma Ingenieros es un grupo de empresas especializadas en diseño de estructuras, consultoría en ingeniería sísmica y en supervisión de obras, involucrándose también a la protección sísmica con aislamiento y disipación de energía. Los disipadores que implementan son los disipadores histeréticos, los disipadores viscoelásticos y de fluido viscoso.

### **3.8. APLICACIONES DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO**

Los disipadores de energía de fluido viscoso Taylor, se han empleados en edificios nuevos y restaurados, además de puentes, aeropuertos, estadios, etc. A continuación se muestran algunas aplicaciones realizadas en nuestro país.

#### **3.8.1. Edificio Reducto**

- Cantidad de disipadores viscosos:30, desde el nivel 3 al 12.
- Confirguración: Chevron
- Numero de pisos: 14 pisos y 8 sótanos
- Cliente: Gerpal
- Proyectista: SEINTEC
- Ubicación: Miraflores, Lima



**Figura 3.22** Edificio Reducto

### **3.8.2. Reforzamiento Aeropuerto Jorge Chavez**

- Cantidad de disipadores viscosos: 42
- Configuración: Chevron
- Número de pisos: 10 pisos.
- Cliente: GAP
- Proyectista: COSAPI
- Ubicación: Callao, Lima



**Figura 3.23** Aeropuerto Jorge Chavez

### **3.8.3. Reforzamiento Hotel Costa del Sol**

- Cantidad de disipadores viscosos: 16
- Configuración: Chevron
- Número de pisos: 7 pisos.
- Cliente: Costa del Sol
- Proyectista: GCAQ
- Ubicación: Callao, Lima





**Figura 3.24** Hotel Costa del sol

#### **3.8.4. Nueva sede Banco de la Nación**

- Cantidad de disipadores viscosos: 16 desde el nivel 23 al 30.
- Disposición: Diagonal.
- Altura: 135 mt
- Número de pisos: 30
- Ubicación: San Borja.
- Contratista: COSAPI



**Figura 3.25** Banco de la Nación, San Borja.

#### **3.8.5. Torre República de Panamá**

- Cantidad de disipadores viscosos: 48, desde el nivel 4 al 15.
- Cofiguración: Chevron.
- Número de pisos: 15 pisos y 3 sótanos.
- Cliente: Aseguradora Pacífico y Automotriz Maquinarias
- Ubicación: Cuadra 45 de la Av. República de Panamá, Surquillo.



**Figura 3.26** Torre República de Panamá.

#### **3.8.6. Panorama Plaza de Negocios**

- Cantidad de disipadores viscosos: 39, desde el el nivel 3 al 19.
- Configuración: Diagonal
- Sistema Estructural: Muros de concreto armado
- Número de pisos: 19 pisos y 9 sótanos
- Cliente: Inversiones Maje S.A.
- Proyectista: Prisma Ingenieros
- Ubicación: Golf los Incas, Prolongación Javier Prado



**Figura 3.27** Panorama Plaza de Negocios

#### **3.8.7. T-Tower**

- Cantidad de disipadores viscosos en todos los niveles
- Sistema Estructural: Aporticado
- Número de pisos: 24 pisos y 10 niveles de sótanos
- Uso: Oficinas
- Cliente: Imagina Grupo inmobiliario
- Proyectista: Prisma Ingenieros
- Ubicación: San Isidro





**Figura 3.28** Edificio T-Tower

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En este capítulo se presentará una metodología de diseño para edificaciones usando amortiguadores de fluido-viscoso en disposición Chevron. Los requisitos mínimos a considerar en base a las recomendaciones del ASCE Capítulo 18 sección 18.2.4.1 son los siguientes:

- Estructura regular.
- Dos dispositivos como mínimo en cada dirección de análisis.
- Dispositivos en todos los niveles.

#### 4.1. PARÁMETROS SÍSMICOS

Tanto el análisis sísmico estático y dinámico de una estructura dependen de los parámetros sísmicos *ZUCS/R* para poder determinar la fuerza cortante basal, la fuerza sísmica en todos los niveles, los esfuerzos en los elementos estructurales y determinar las aceleraciones, velocidades y desplazamientos.

Algunos de los factores dependen del tipo de edificación y dos de ellos dependen del lugar donde se va a establecer la estructura, por lo cual si la estructura se cimenta en una zona altamente sísmica y con un perfil de suelo muy flexible, los esfuerzos en los elementos estructurales y respuestas dinámicas serán mucho mayores que si se hubieran cimentado en una zona con menor grado de sismicidad y con un suelo firme. Estos parámetros son:

- Z: Zona sísmica del Perú
- S: Perfil del suelo

Uno de los objetivos de este documento fue de *comprobar que el uso de disipadores de energía de fluido viscoso es aceptable para las zonas sísmicas y los perfiles del suelo más desfavorables*, y ya que Piura es una zona altamente sísmica (Zona cuatro) y un perfil de suelo flexible o blando según la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014 se procedió a modelar la estructura con los parámetros señalados en el capítulo 5.1.2, donde según la tabla 5.1 el factor *ZUCS/R* más desfavorable es de 0.619

## **4.2. REGISTROS TIEMPO-HISTORIA**

La Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014 indica que siempre que se desarrolle un análisis estructural tiempo-historia, deberá contarse con tres registros de aceleraciones horizontales como mínimo, normalizados a la aceleración máxima esperada en el sitio. Se señala también que si se trata de una edificación importante se requerirá que los elementos estructurales sean modelados con propiedades inelásticas.

Siguiendo la recomendación del ASCE 07-10, se usarán 3 pares de registros sísmicos debidamente normalizados, para este documento se recurrió a la página web <http://sig.cismid-uni.org/redacis>, donde se muestran las diferentes estaciones acelerográficas del Perú, donde podemos encontrar los registros sísmicos bien sea por fecha, magnitud y estación acelerográfica.

Los registros sísmicos que se empleen deben reflejar la realidad del proyecto, es decir deben de haber sido tomados en suelos con características similares al suelo donde se desplantara la cimentación de la estructura.

## **4.3. ESPECTRO DE DISEÑO**

La norma peruana señala que estos registros deben ser escalados a un espectro de diseño, este espectro de pseudoaceleraciones debe ser calculado fijando el valor del coeficiente de reducción sísmica a la unidad ( $R=1$ ), esta reducción del valor de  $R$  se realiza para que el edificio entre en el rango inelástico ante un sismo severo, es importante tener en cuenta que para la obtención de derivas, los desplazamientos laterales calculados en el análisis ya no se multiplican por  $0.75 \cdot R$  sino simplemente por 1. De este espectro de diseño procedemos a obtener las derivas de entrepiso en ambas direcciones.

#### **4.4. ESCALAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS**

Una vez obtenido el espectro de diseño se procede a escalar los diferentes registros sísmicos al espectro de diseño. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de periodos entre  $0,2 T$  y  $1,5 T$  el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según numeral 4.6.2 de la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014 con  $R=1$ .

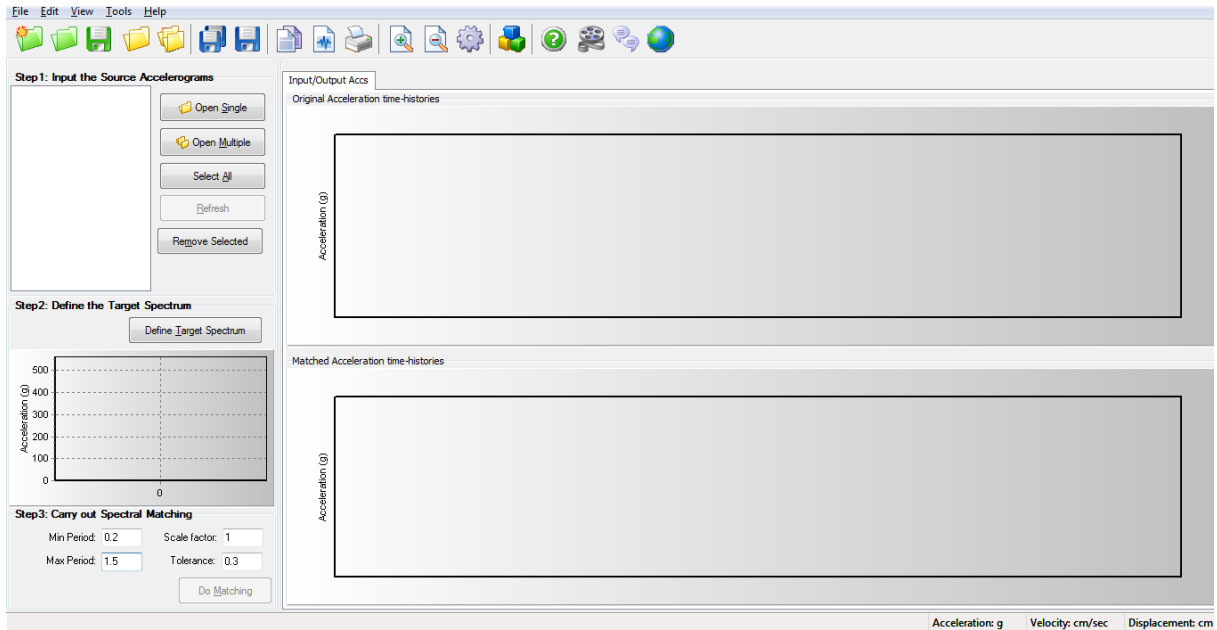
Este proceso se simplifica al usar el software SEISMOMATCH v2.1, la siguiente Figura 4.1 muestra la interfaz de este software donde se puede visualizar un panel izquierdo con tres pasos importantes para poder obtener el escalado de nuestro registro sísmico

El primer paso es poder ingresar las aceleraciones en formato .txt según las direcciones que requerimos, para nuestro proyecto necesitamos ingresar dos diferentes acelerogramas por registro sísmico, uno en sentido este-oeste (EW), y otro norte-sur (NS).

El segundo paso es poder ingresar el espectro de diseño en formato .txt, según los parámetros sísmicos de la zona pero con un coeficiente de reducción sísmica ( $R$ ) de uno.

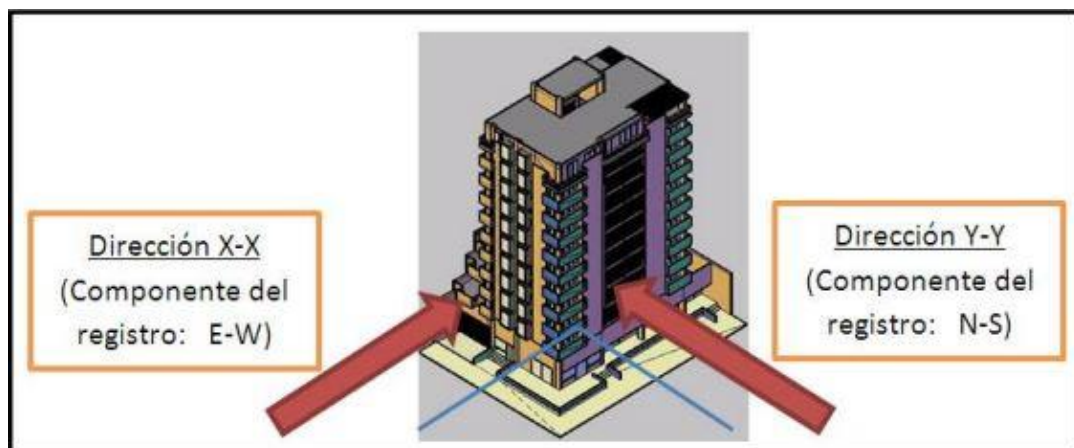
Y como tercer y último paso es poder ingresar los coeficientes según la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E0.30-2014, para el periodo mínimo ingresar 0.2 y para el periodo máximo ingresar 1.5, tanto las dos aceleraciones del mismo registro deberán ser afectadas por el mismo factor de escala.



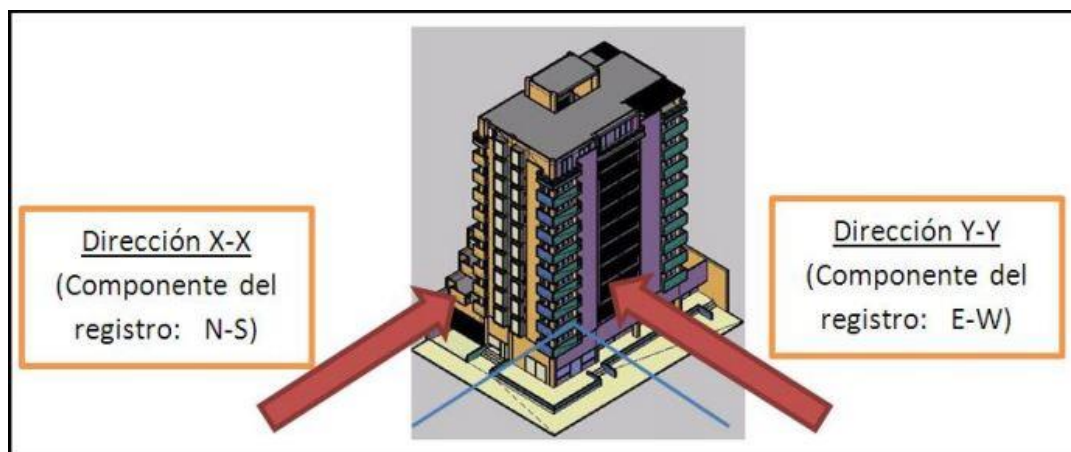


**Figura 4.1** Software Seismomatch para escalar registros sísmicos.

Por cada registro sísmico escalado que se emplee en el análisis tiempo historia, deberán analizarse dos casos por separado, el caso 1, cuando la componente E-W del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X de la estructura mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente N-S (Figura 4.2) y el caso 2, donde la componente N-S del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente E-W (Figura 4.3)



**Figura 4.2** Primer caso de análisis



**Figura 4.3** Segundo caso de análisis

Finalmente, para determinar el sismo de diseño se debe realizar una comparación entre las derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico espectral y del análisis tiempo historia, el sismo de diseño será aquel que se ajuste más a las derivas obtenidas del análisis dinámico espectral (comportamiento esperado)

#### **4.5. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO**

Se procede a la elección de los objetivos de desempeño sísmico. Estos objetivos corresponden a expresiones de acoplamiento entre los niveles de desempeño deseados y el nivel de movimiento sísmico esperado. Para seleccionar estos objetivos es necesario tomar en consideración algunos factores como la importancia de las funciones que ocurren dentro del edificio, consideraciones económicas como el costo de interrupción de las actividades así como costos de reparación.

##### **4.5.1. Sismos de diseño**

La propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) establece cuatro niveles de amenaza sísmica en función de su probabilidad de ocurrencia en un período de 50 años de exposición, o en función del período medio de retorno, los cuales se muestran en la tabla 4.1

Sismo de diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años de exposición	Periodo de retorno
Sismos frecuentes	69%	43 años
Sismos ocasionales	50%	72 años
Sismos raros	10%	475 años
Sismos muy raros	5%	970 años

**Tabla 4.1** Niveles de amenaza sísmica según la propuesta de SEAOC.  
(SEAOC Vision 2000 Commitee, 1995)

#### 4.5.2. Niveles de desempeño

La propuesta del SEAOC define cinco niveles de desempeño en base a tres aspectos fundamentales:

- Daño sufrido por el sistema estructural y por las componentes no estructurales.
- Amenaza de la seguridad de los ocupantes a raíz de los daños.
- Funcionalidad de la edificación luego del sismo.

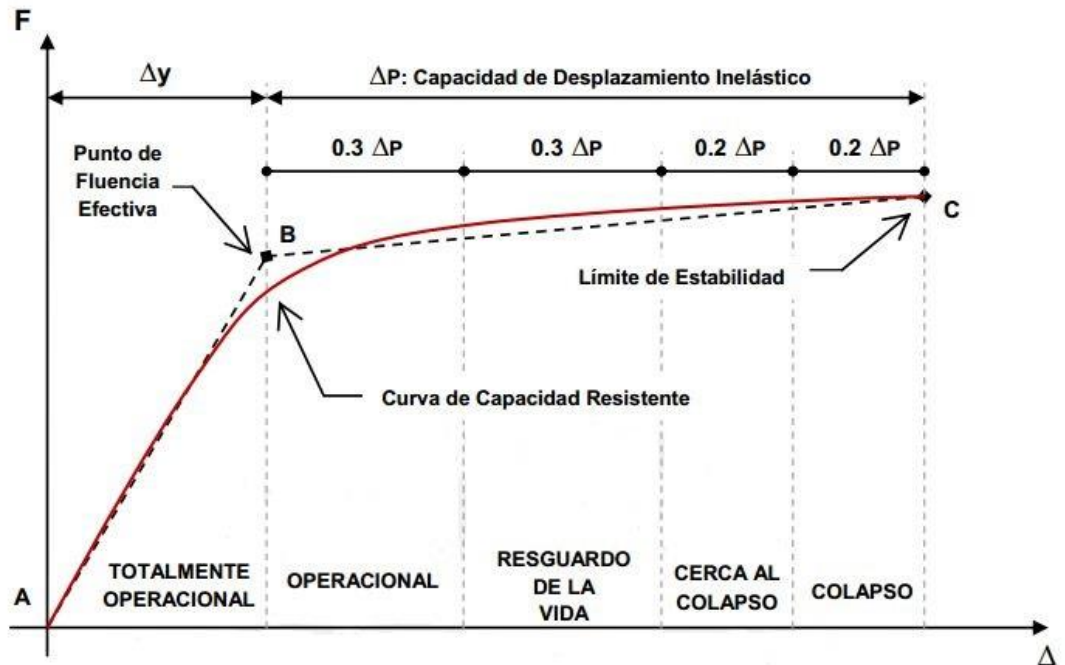
La tabla 4.2 resume las principales características de los cinco niveles de desempeño propuestos y los relaciona con el daño general de la estructura.

Nivel de desempeño	Descripción de los daños	Estado de daño	Límite de despl. del sistema
<b>Totalmente ocupacional</b>	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo.	Despreciable	$\Delta y$
<b>Operacional</b>	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales. Las instalaciones y en servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.	Leve	$\Delta y + 0.30\Delta y$
<b>Resguardo de vida</b>	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse aunque no siempre sea económicamente aconsejable.	Moderado	$\Delta y + 0.60\Delta y$
<b>Cerca al colapso</b>	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso.	Extenso	$\Delta y + 0.80\Delta y$
<b>Colapso</b>	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación.	Completo	$\Delta y + 1.00\Delta y$

**Tabla 4.2** Niveles de desempeño según la propuesta de SEAOC.  
(SEAOC Vision 2000 Committee, 1995)

Una manera para calificar el nivel de desempeño se realiza mediante la sectorización de la curva de capacidad. En primer lugar, debe simplificarse la curva de capacidad, empleando un modelo bilineal, con el objetivo de determinar el punto de fluencia efectiva ( $\Delta y$ ). A partir de este punto, queda definido el inicio del comportamiento inelástico, el cual se divide en cuatro sectores dependiendo del porcentaje de desplazamiento inelástico disponible ( $\Delta P$ ).

A continuación, se muestra la curva de capacidad sectorizada propuesta por el SEAOC



**Figura 4.4** Curva de capacidad sectorizada propuesta por el SEAOC.  
(SEAOC Vision 2000 Committee, 1995)

#### 4.5.3. Importancia de la edificación

De acuerdo al grado de importancia de la edificación, durante y después de un sismo, la propuesta del Comité VISION 2000 clasifica a las edificaciones en tres grandes grupos:

- Edificaciones Esenciales. Aquellas cuya función no debería interrumpirse luego de ocurrido el sismo. En este grupo tenemos: hospitales, cuarteles de bomberos, policía, etc.
- Edificaciones de Seguridad Crítica. Aquellas que contienen materiales peligrosos dañinos para la población. Aquí se encuentran: plantas industriales y centrales nucleares.
- Edificaciones Comunes. En este grupo se encuentran todas las edificaciones que no hayan sido incluidas anteriormente: edificios de viviendas, oficinas, hoteles, entre otras.

#### 4.5.4. Objetivos de desempeño

La propuesta establecida por el Comité VISION 2000, señala lo siguiente:

*“Los objetivos del desempeño Sismorresistente se definen por la combinación entre los niveles de desempeño deseados y los niveles de amenaza sísmica esperada de acuerdo a la importancia de la edificación.”* (SEAOC, 1995)

Estos objetivos se relacionan entre sí mediante la denominada matriz de desempeño, la cual establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico antes los diferentes niveles de amenaza:

		Nivel de desempeño de la Edificación			
		Totalmente operacional	Operacional	Resguardo de vida	Cerca al colapso
<b>Nivel de demanda sísmica</b>	Sismos Frecuentes (43 años)				
	Sismos ocasionales (72 años)				
	Sismos raros (475 años)				
	Sismos muy raros (970 años)				

	Edificaciones de seguridad crítica
	Edificaciones esenciales
	Edificaciones comunes

**Tabla 4.3** Nivel de desempeño de la edificación (adaptado de SEAOC).  
(SEAOC Vision 2000 Committee, 1995)

La visión del diseño sísmico de estructuras consiste en verificar el comportamiento de las edificaciones para cada uno de los sismos descritos líneas arriba; verificaciones que se realizarán sobre las derivas máximas permitidas y en base al daño local y global de la estructura.

Estudios de peligro asociados a los cuatro sismos de diseño en la costa oeste de América del Sur (A. Muñoz. Ingeniería Sismorresistente), en términos de aceleración pico en la base rocosa y probabilidad de excedencia en 50 años de exposición, concluyen que la aceleración tendría valores cercanos a los mostrados en la tabla 4.4.

<b>Sismos de Diseño</b>	<b>Aceleración (g)</b>	<b>Comportamiento Estructural</b>
<b>Sismos frecuentes</b>	0.20	Perfectamente elástico
<b>Sismos ocasionales</b>	0.25	Practicamente elástico
<b>Sismos raros</b>	0.40	Importantes incursiones elásticas con pérdida de resistencia y rigidez. La estructura es reparable
<b>Sismos muy raros</b>	0.50	Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura

**Tabla 4.4** Desempeño esperado para edificios comunes en la costa peruana.

Actualmente, el Diseño Orientado al Desempeño nos permite desarrollar estrategias para lograr edificios con buen comportamiento en múltiples escenarios de peligro.

## **4.6. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DISEÑO**

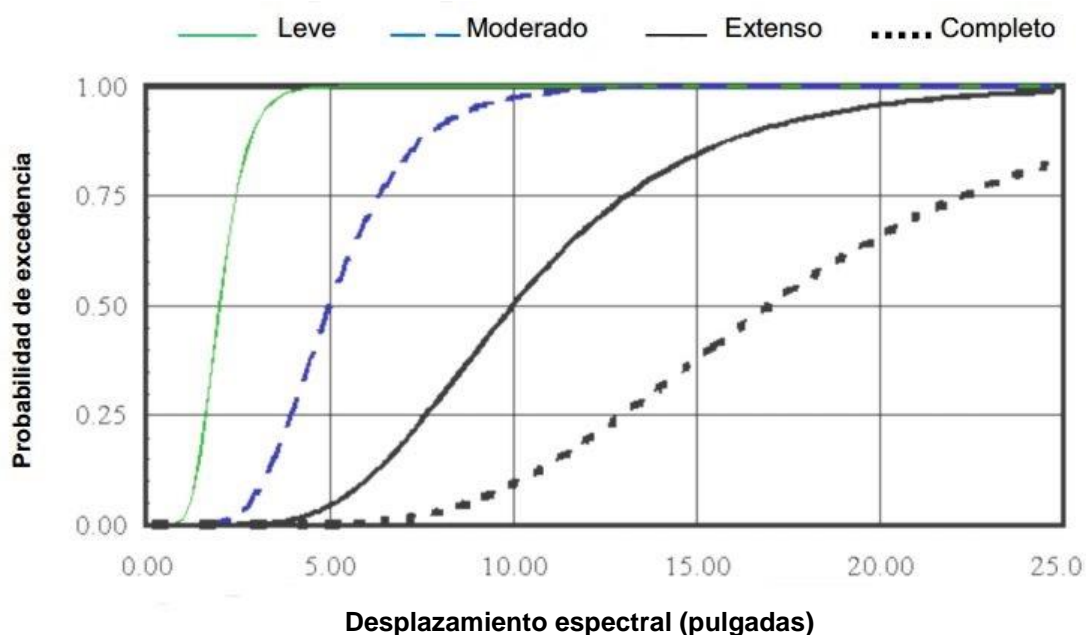
### **4.6.1. Relación daño-deriva**

Se ha demostrado que el daño en un edificio es función principal del desplazamiento en vez de función de la fuerza. Así se observa que cuando la estructura ingresa al rango inelástico, el aumento de daño se debe al aumento de desplazamientos aun cuando la fuerza que actúa en ella se mantenga constante.

La experiencia sísmica acumulada durante los últimos años ha demostrado que mientras mayores son los desplazamientos inelásticos en una estructura, mayor es el daño y la probabilidad de colapso.

El manual del HAZUS presenta curvas de fragilidad (figura 4.3) que describen la probabilidad de exceder diferentes estados de daño, dado un determinado parámetro de demanda que puede ser en términos de aceleración pico del suelo (PGA) o de la deformación permanente del suelo (PGD).

Estas curvas se han obtenido a partir de la elaboración de curvas de capacidad, las cuales se usaron para conocer las respuestas de un edificio en términos de la aceleración pico del suelo.



**Figura 4.5** Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño.  
(HAZUS)

Vemos que la probabilidad de alcanzar o exceder un determinado desplazamiento espectral dependerá del nivel de daño que se quiera tener. Así, para un nivel de daño leve, la probabilidad de alcanzar o exceder un desplazamiento espectral será mucho mayor a la probabilidad de exceder ese mismo desplazamiento para un nivel de daño completo.

#### 4.6.2. Deriva-objetivo

La relación existente entre Daño y Deriva en edificios ha sido estudiada y cuantificada por el FEMA Mitigation Division del gobierno estadounidense en su documento “Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS”. Este documento presenta los estados de daño y sus correspondientes derivas características de diversos sistemas estructurales.

En el capítulo 5 del mismo, se hallan descripciones que ayudan a clasificar el tipo de edificio en análisis. Por ejemplo un S2L es un edificio de acero con arriostres como sistema de resistencia sísmica de baja altura.



En la parte final del capítulo 5 se encuentran tablas que relacionan el estado de daño y su deriva característica para cada tipo de edificio, la tabla 8 muestra estas relaciones. Cada estado de daño se relaciona con un nivel de desempeño según la tabla 4.5. Por lo tanto para un desempeño objetivo, puede encontrarse una deriva objetivo.

Building Properties			Interstory Drift at			
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300

**Tabla 4.5** Relación Daño-deriva según el tipo de la estructura.  
(HAZUS)

La Norma Peruana para edificios de concreto armado, independiente de la altura, fija la deriva máxima en 0.7% y la albañilería de 0.6%.

#### 4.6.3. Amortiguamiento objetivo ( $\beta_{eff}$ )

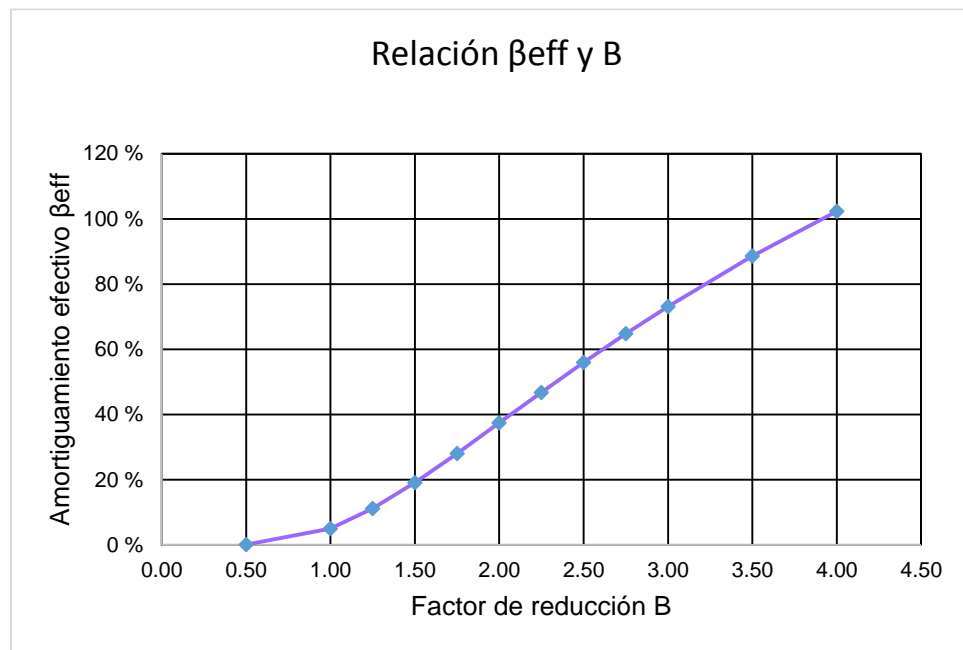
Si la deriva máxima obtenida del análisis del edificio sin disipadores es mayor que la deriva objetivo, entonces se determina el cociente:

$$B = \frac{\text{Deriva máxima}}{\text{Deriva objetivo}}$$

Este es el factor de reducción de respuesta para llegar a la deriva objetivo. Con este factor  $B$  podemos determinar el amortiguamiento efectivo necesario que desarrollará la estructura para alcanzar la deriva objetivo mediante la fórmula de Newmark:

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

En el siguiente gráfico se muestra las relaciones entre algunos valores del factor de reducción  $B$  y su correspondiente  $\beta_{eff}$ :



**Figura 4.6** Relación Factor  $B$  y Amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ .

$\beta_{eff}$  Es el amortiguamiento objetivo que debe desarrollar la estructura con la adición de los disipadores de energía. La participación que tendrán los disipadores en el amortiguamiento ( $\beta_{visc}$ ) puede obtenerse descontando el amortiguamiento inherente de la estructura, 5% para edificios de concreto armado, del valor  $\beta_{eff}$ :

$$\beta_{visc} = \beta_{eff} - 5\%$$

#### 4.7. FACTORES DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL DISIPADOR

Según la sección 3.5 menciona las ecuaciones necesarias para poder hallar el coeficiente de amortiguamiento  $C$ , mientras que la rigidez del dispositivo  $K$  se calculará mediante la sección del brazo metálico que decidamos escoger, el exponente de velocidad  $\alpha$  será estimado e iterativo para poder hallar la máxima fuerza de amortiguamiento del disipador para una menor velocidad.

#### 4.8. MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO.

El modelo del sistema estructural será del tipo lineal considerando secciones fisuradas en vigas y columnas; mientras que los dispositivos de amortiguación corresponderán a elementos no lineales.

En cuanto a los dispositivos de amortiguación, la Figura 4.5 muestra la manera de introducir las propiedades expuestas en el acápite 3.6 en el software de cálculo ETABS v13.1.1.

Una vez definido el elemento se procede con la ubicación y disposición de los dispositivos según el acápite 1.4.4.

The image shows a screenshot of the 'Link/Support Directional Properties' dialog box in ETABS software. The dialog is divided into several sections:

- Identification:**
  - Property Name: DFV 1
  - Direction: U2
  - Type: Damper
  - NonLinear: Yes
- Linear Properties:**
  - Effective Stiffness: 0 tonf/m
  - Effective Damping: 0 tonf-s/m
- Shear Deformation Location:**
  - Distance from End-J: 0 m
- Nonlinear Properties:**
  - Stiffness: 38919 tonf/m
  - Damping: 75 tonf\*(s/m)^Cexp
  - Damping Exponent: 0.6

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

To the right of the dialog, a separate table displays the nonlinear properties with their respective symbols:

Nonlinear Properties		
Stiffness	$K$	38919 tonf/m
Damping	$C$	75 tonf*(s/m)^Cexp
Damping Exponent	$\alpha$	0.6

**Figura 4.7** Propiedades del dispositivo en el software ETABS.

## **4.9. RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO.**

### **4.9.1. Derivas**

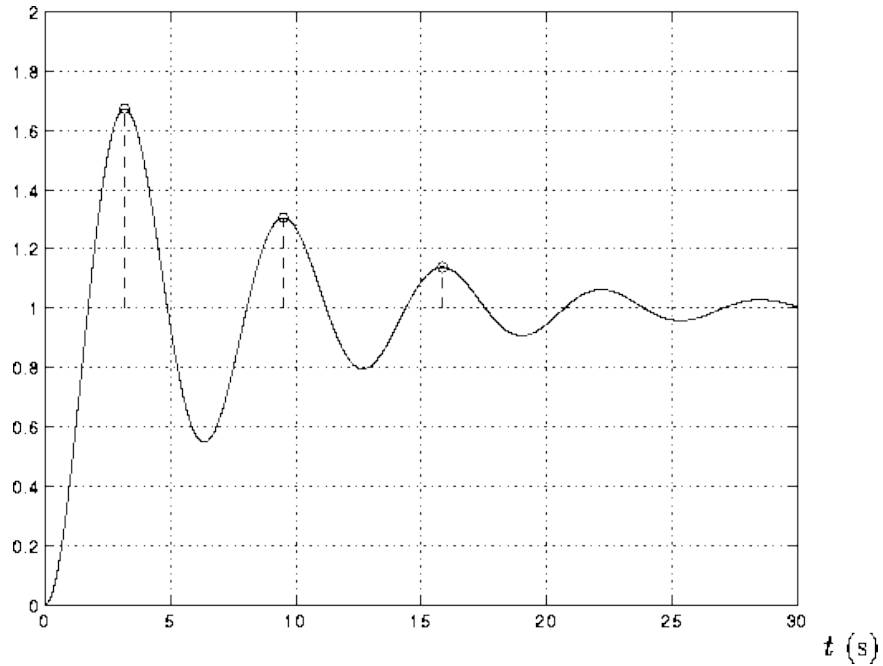
Se evalúan si las derivas máximas de entrepiso obtenidas usando el sistema de amortiguamiento caracterizados por el factor “C” y “ $\alpha$ ” estimados en la primera iteración han alcanzado la deriva objetivo. Si no fuera el caso, se procede a iterar el valor de las constantes “C” y “ $\alpha$ ”, la cantidad de dispositivos e inclusive la posición o disposición de los mismos; en este orden de importancia cuantas veces sea necesario.

### **4.9.2. Balance Energético**

Se evalúa el balance energético de la estructura con el sistema de amortiguamiento. Un balance energético gráfico permite apreciar la participación de los amortiguadores y de la estructura en la disipación de la energía total. Además puede evaluarse la efectividad de la ubicación y disposición de los amortiguadores.

### **4.9.3. Verificación del amortiguamiento objetivo**

Con el propósito de verificar si el amortiguamiento añadido por los disipadores alcanza al amortiguamiento objetivo, se somete al edificio a una prueba de vibración libre. Para ello se usará una función Pulso.



**Figura 4.8** Respuesta de una estructura amortiguada sometida a un pulso.

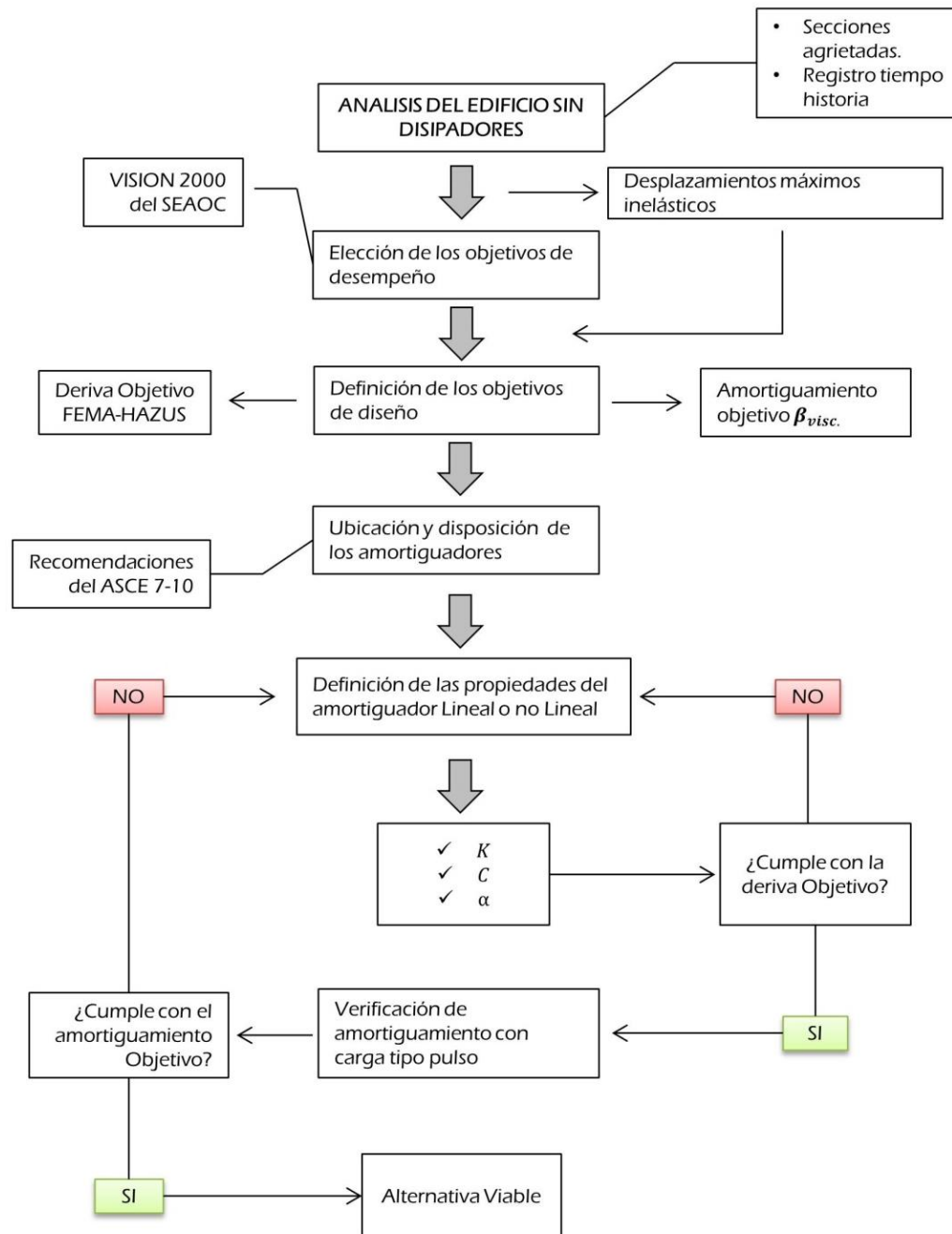
El grado de amortiguamiento se evaluará mediante la fórmula del decremento logarítmico:

$$\ln\left(\frac{x_t}{x_{(t+nT)}}\right) \cong \frac{2n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

Donde:

- $\xi$ : Amortiguamiento alcanzado por la estructura bajo las propiedades del disipador: C,  $\alpha$  y K definidas en la sección 5.6.8.
- $x_t$ : Desplazamiento en el tiempo “t” de vibración.
- $x_{(t+nT)}$ : Desplazamiento en el tiempo “t + nT” de vibración.
- n: Número de ciclos.

#### 4.10. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS



**Figura 4.9** Esquema de metodología de análisis de una estructura con disipadores.

## **CAPÍTULO V**

### **CASO DE ESTUDIO-CLÍNICA SANTA ISABEL**

#### **5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

El edificio en estudio corresponde al proyecto de una Clínica ambulatoria: “Centro Médico de Gastroenterología Santa Isabel”.

Esta edificación tiene un área de 250 m<sup>2</sup> con forma rectangular de 10mt de ancho y 25mt de largo; posee los siguientes linderos: por el frente con la Avenida San Miguel y tanto por la derecha como por la izquierda y el fondo con predios ya existentes.

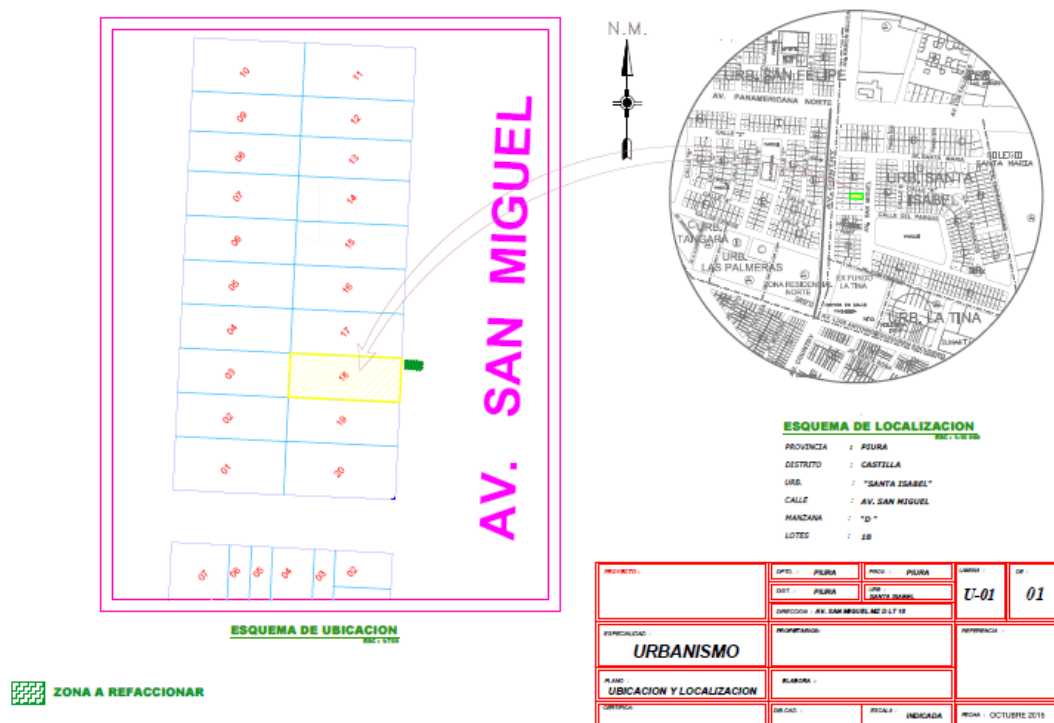
##### **5.1.1. Ubicación**

El edificio en estudio se ubica geográficamente en la región costa de nuestro país, específicamente en la región de Piura, Provincia de Piura, Distrito de Piura, en la Urbanización Santa Isabel, según Figura 5.1.

Esta edificación es del tipo esencial A1 ya que será empleada como una Clínica.

##### **5.1.2. Detalle de los niveles**

El edificio cuenta con seis niveles y un sótano, dentro de los cuales los pisos del segundo al quinto son típicos y el sexto nivel que está destinado para azotea presenta una superficie menor a la de los pisos inferiores; las dimensiones en planta se muestran en la Tabla 5.1.



**Figura 5.1** Plano de Localización y Ubicación de la Clínica Santa Isabel

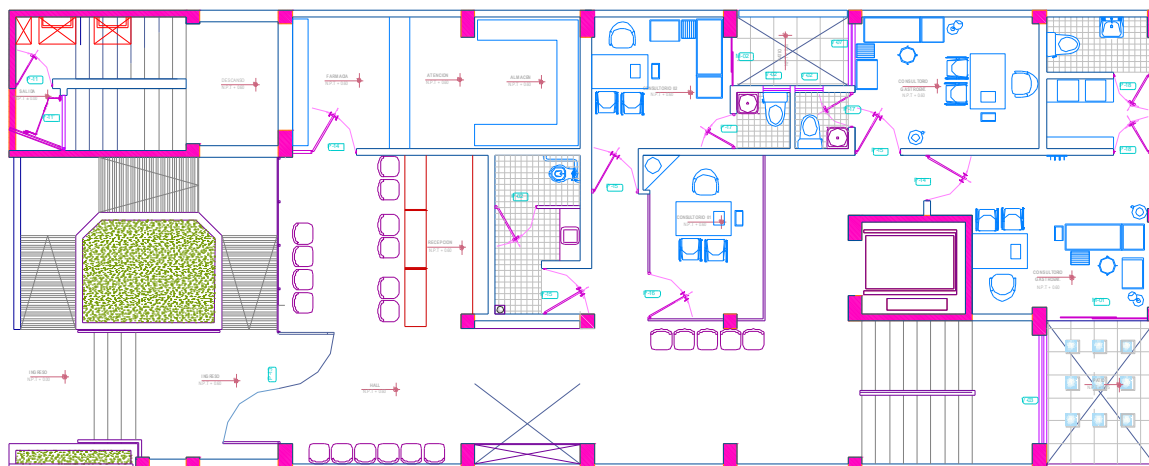
Nivel	Area (m2)
Sotano	233.10
Primer Nivel	163.62
Segundo Nivel	181.99
Tercer Nivel	181.99
Cuarto nivel	181.99
Quinto nivel	181.99
Sexto nivel	129.77

**Tabla 5.1** Áreas techadas en los niveles de la estructura.

En la siguiente Figura 5.2 se muestra la planta del primer nivel. Los demás niveles se detallan en el anexo A, el cuarto y quinto nivel es similar al tercero. En las tablas 5.2 se detallan las principales características del edificio.



PRIMER NIVEL  
CENTRO MEDICO  
escala 1:50



**Figura 5.2** Vista en planta del primer nivel

Función Edificio destinado como Clínica		
<b>Ubicación</b>	Distrito	Piura
	Provincia	Piura
	Departamento	Piura
<b>Area (m2)</b>	Sotano	233.10
	Primer Nivel	163.62
	Segundo al Quinto Nivel	181.99
	Sexto nivel	129.77
<b>Altura Libre</b>	Sotano	3.00
	Del 1° hasta azotea	3.20

**Tabla 5.2** Información básica de la edificación.

### 5.1.3. Estudio de mecánica de suelos y cimentación

El EMS se realizó el mes de octubre del 2014 pasado por el laboratorio de ensayo de materiales de construcción de la UDEP y se realizaron tres sondajes comprendiendo los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico
- Límites líquido – plástico – índice de plasticidad de suelos
- Resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos
- Determinación de cloruros y sulfatos

Los sondeos realizados reportan una profundidad de nivel freático alrededor de 3m, que es un nivel relativamente alto considerando que octubre es parte de la época seca de Piura. Esta información, además, es coherente con el Mapa de Peligros de la ciudad de Piura que nos informa que la profundidad del agua debe considerarse incluso menor a 3m.

Se realizó el ensayo SPT para los tres sondeos, obteniéndose valores muy bajos, por ello los responsables del EMS recomienda ubicar las cimentaciones a 3.5m de profundidad debido a que allí se encuentran valores de alrededor de 25 golpes, que es un valor aceptable. Esta profundidad de cimentación ayudará a la estabilidad de la edificación.

El índice de plasticidad ( $I_p$ ) del sondeo más desfavorable resultó de 22.33. Este resultado nos ayudó en poder identificar el tipo de perfil del suelo, ya que según el ítem 2.3.1 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismo resistente el perfil del suelo es  $S_3$  cuando el  $I_p$  es mayor a 20.

La capacidad portante del terreno es de 0.84 kg/cm<sup>2</sup> para una zapata cuadrada de 3.5 mt de ancho.

Así mismo se halló la presencia de cloruros que es moderadamente peligrosa para el acero de refuerzo en contacto con el suelo a nivel de cimientos en caso de no impermeabilizar.

Para las condiciones anteriores se consideró prudente:

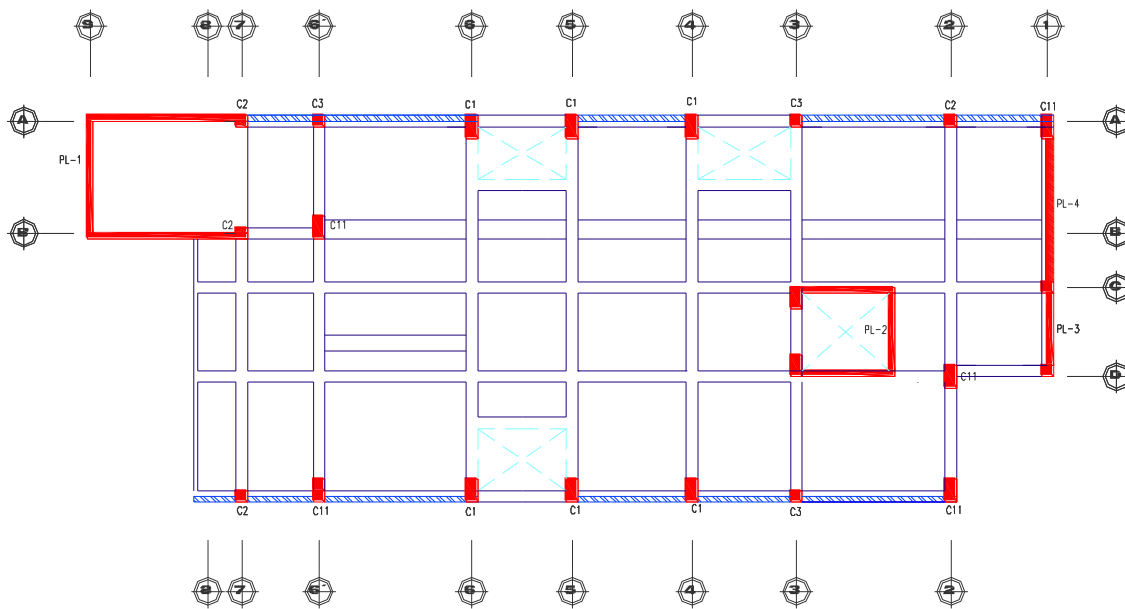
- Impermeabilizar el terreno con geomembrana de poliuretano de alta densidad de espesor = 0.75 mm.
- Rigidizar la estructura con una platea de cimentación de 30 cm con lo que se busca garantizar que no se excedan los esfuerzos admisibles así como evitar que se presenten posibles asentamientos diferenciales.

#### 5.1.4. Elementos estructurales

La estructura está conformada por:

- Muros de corte: PL-1(escalera de servicio), PL-2 (ascensor) PL-3 y PL-4
- Pórticos: en la dirección del eje Y.
- Muros de albañilería confinada en el eje X.

En la Figura 5.3 se muestra la distribución de los muros de corte, pórticos y muros de albañilería; además se detalla las dimensiones de cada una de ellas en la tabla N° 2332.



**Figura 5.3** Vista estructural en planta donde se muestra solo muros de corte, pórticos y muros de albañilería del primer al quinto nivel.

SISTEMA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES			
Muros de corte	e =15 cm	Sistema de Losas	Aligerada e= 20 cm
Muros de albañilería	e =15 cm		Maciza e= 20 cm
N° de Columnas	18	Platea de Cimentación e =30cm	
Columnas	Sección	Vigas	Sección
C-1	30x60	VA-VD	30x60
C-2	30x30	VS	30x20
C-3	30x30	V-110 Y V-111	30x40
C-11	30x60	VCH	20x40

**Tabla 5.3** Detalle de los elementos estructurales.

## 5.2. CONSIDERACIONES PARA EL MODELAMIENTO

### 5.2.1. Propiedades de los materiales

A continuación, en la tabla 5.4 se presenta las características de los materiales a emplear para cada uno de los elementos de la estructura.

PROPIEDADES DEL CONCRETO		
Resistencia a la compresión del concreto (todos los elementos)	$f'_c$	210 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c$	217371 kg/cm <sup>2</sup>
Peso Específico del concreto	$\gamma$	2400 kg/cm <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson del concreto	$\nu$	0.2
PROPIEDADES DEL ACERO		
Esfuerzo de fluencia del acero	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de elasticidad del acero	$E_s$	2000000 kg/cm <sup>2</sup>
PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA		
Resistencia a compresión axial de la albañilería.	$f_m$	65 kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de elasticidad del acero	$E_s$	32500 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 5.4** Propiedades de los materiales involucrados en la estructura del edificio.

### 5.2.2. Cargas consideradas para el análisis

Por ser una estructura compleja que presenta diversos ambientes y en consecuencia cargas de diferentes magnitudes aplicadas en ellas; el metrado de cargas se ha calculado por el software de análisis estructural Etabs V 13.1.1, para esto se consideraron las siguientes cargas:

#### a. Sobrecargas

Se emplearon los valores que se establecen en tabla 1 de la norma E.020 Cargas, teniendo en cuenta los diferentes tipos de uso y ocupación de los espacios que se señalan en los planos de arquitectura, en la Tabla 5.5 se describen las cargas utilizadas en el modelamiento de la estructura.

Ocupación o uso	Cargas repartidas (m/s2)
Almacenaje	500 kg/cm2
Salas de lectura	300 kg/cm2
Corredores y escalera	400 kg/cm2
Laboratorios	300 kg/cm2
Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	300 kg/cm2
Cuartos	200 kg/cm2

**Tabla 5.5** Cargas vivas utilizadas en el modelamiento de la estructura.

#### b. Peso propio

El modelamiento geométrico se realizó tratando en lo posible de reflejar el modelo arquitectónico, considerando para ello las diferentes secciones de los elementos estructurales como placas, columnas, vigas, losas, etc. Para el caso especial de la losa aligerada y maciza (espesor de 20 cm) se diseñó con un elemento área tipo Slab con un espesor mínimo de 1mm con el fin práctico de poder asignar la carga del peso propio de la losa aligerada (300 kg/cm2) y la losa maciza (360 kg/cm2) a la carga muerta del edificio para un control más exacto del peso total de la edificación.

### **c. Carga muerta**

La carga muerta está constituida principalmente por el piso terminado y los tabiques interiores, estos tabiques serán del tipo Drywall. Los pesos asignados a las losas son los siguientes:

- Acabados = 100 kg/m<sup>2</sup>
- Drywall = 30 kg/m<sup>2</sup>
- Peso propio de losa aligerada = 300 kg/m<sup>2</sup>
- Peso propio de losa maciza = 360 kg/m<sup>2</sup>

A continuación se detalla la carga muerta asignada en cada nivel para:

- Losa aligerada = 430 kg/m<sup>2</sup>
- Losa maciza = 490 kg/m<sup>2</sup>

Parte de la losa aligerada del quinto nivel es de 400 kg/m<sup>2</sup>, ya que no existen tabiques de drywall para divisiones.

### **d. Peso de la edificación**

Para el peso de cada nivel se tomó en cuenta el 100% tanto del peso propio como de la carga muerta más el 50% de la carga viva o sobrecarga por ser una edificación que clasifica como tipo A1 (edificación esencial) y adicionalmente un 25% de la carga viva para la azotea y techos de acuerdo a la norma E.0.30-2014 de Diseño sismorresistente.

#### **5.2.3. Restricciones**

El proyecto posee un sótano de 2.80mt de altura libre y para efectos de simplicidad del modelamiento y evitar modelar los esfuerzos de presión del terreno en los muros se restringen las traslaciones en las direcciones X e Y y la rotación en el eje Z, esta acción es justificada ya los muros de contención están confinados en todos su perímetro por el terreno y esto evita los desplazamientos de la estructura.

### **5.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN**

Para una edificación esencial como la expuesta en este trabajo, el tipo de análisis estructural que comúnmente se emplea es el análisis dinámico espectral o el de tiempo historia, sin embargo el análisis tiempo historia en los últimos años, en el Perú, ha quedado como un procedimiento complementario al análisis de estático y al dinámico espectral y este frecuentemente se emplea solo para proyectos con características especiales (edificios con disipadores de energía, aisladores en la base, etc.). Para la evaluación de este proyecto se realizó un análisis dinámico espectral, pero previo a este, se llevó a cabo el análisis estático con las siguientes finalidades:

- Verificar si la edificación presenta irregularidad torsional.
- Examinar la cortante que toman las placas, columnas y muros de albañilería del primer nivel y poder clasificar el sistema estructural.
- Para el cálculo de la cortante estática que luego será empleada para el ajuste de la cortante dinámica (80% de la cortante estática si el edificio es regular y 90% si el edificio es irregular).

## **5.4. ANÁLISIS ESTÁTICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES**

### **5.4.1. Parámetros sísmicos**

Para realizar el análisis sísmico estático, la Norma E.030-2014 de Diseño sismorresistente menciona los siguientes parámetros necesarios:

- Z: Factor de zona
- S: Factor de suelo
- $T_p$ : Periodo que define la plataforma del espectro
- $T_l$ : Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante
- U: Categoría de la edificación
- R: Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas
- $I_a$ : Irregularidades estructurales en altura
- $I_p$ : Irregularidades estructurales en planta
- $R_o$ : Coeficiente básico de reducción
- C: Factor de amplificación sísmica C
- T: Periodo fundamental de la estructura para el análisis

#### **a. Factor de Zona (Z)**

La Clínica Santa Isabel está ubicada en la ciudad de Piura y según la Tabla N° 1 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente le corresponde un valor de  $Z = 0.45$  ya que Piura se encuentra ubicada en la zona sísmica cuatro según la Figura N° 1 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente.

#### **b. Parámetros del Suelo (S) y ( $T_p$ ) y ( $T_l$ )**

Según la sección 5.1.3 la estructura está ubicada sobre un suelo tipo S3 (suelos blandos) al mismo que le corresponde un factor de amplificación del suelo  $S = 1.10$ , un periodo que define la plataforma del espectro  $T_p = 0.9$  seg; y un periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante  $T_l = 1.60$  seg; tal como se indica en la Tabla N°3 y Tabla N°4 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente.



**c. Categoría de la Edificación (U)**

Según la Tabla N° 5 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente, la categoría asignada es A1 ya que es un establecimiento de salud del tipo ambulatoria y posee además la farmacia como servicio de salud según la Tabla N° 5.1 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente; esta categoría pertenece a edificaciones esenciales y le corresponde un factor de uso  $U=1.5$ .

**d. Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica (R)**

El modelo estructural ingresado en el software Etabs v13.1.1 halló el porcentaje de incidencia del cortante basal en las columnas, muros de albañilería y muros de corte. Los resultados fueron los siguientes:

Elementos	V estática X (tn)	Participación %	Comportamiento Estructural
Muros de Corte	410.35	52.82%	Albañilería
Muros de Albañilería	337.64	43.46%	
Columnas	28.93	3.72%	R= 3
<b>Sumatoria</b>	<b>776.92</b>	<b>100.00%</b>	

**Tabla 5.6** Porcentaje del cortante basal en los elementos de corte en la dirección X.

Elementos	V estática Y (tn)	Participación %	Comportamiento Estructural
Muros de Corte	222.66	69.00%	Dual tipo I
Columnas	100.05	31.00%	
<b>Sumatoria</b>	<b>322.71</b>	<b>100.00%</b>	<b>R=7</b>

**Tabla 5.7** Porcentaje del cortante basal en los elementos de corte en la dirección Y.

El sistema estructural en la dirección X-X es un sistema de Albañilería por lo que se tomará el menor coeficiente  $R_o$  que corresponda según la sección 3.4 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente, que en nuestro caso pertenece a un  $R_o= 3$  según Tabla N° 7 Sistemas estructurales y en la dirección Y-Y el sistema estructural pertenece a un Dual tipo I con  $R_o=7$ .

**e. Irregularidades estructurales en altura (Ia)**

No se observó irregularidad alguna, por lo que  $I_a = 1$

**f. Irregularidades estructurales en planta (Ip)**

En la Tabla N° 9 de la Norma E 0.30-2014 de Diseño sismorresistente se señala que la irregularidad torsional se debe considerar solamente en edificios en los que el desplazamiento máximo relativo de entrepiso es mayor que 1.5 veces el desplazamiento relativo del extremo opuesto.

“Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso excede de 50 % del máximo permisible (Tabla N°9 de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismoresistente) indicado en la Tabla N° 11”.

El proyecto es una edificación mixta, inicialmente el proyecto era una estructura de concreto armado compuesta por pórticos en el eje Y de columnas importante de 0.30m x 0.60m y vigas peraltadas de 0.60m de altura más las tres placas mencionadas anteriormente donde según la Tabla N° 11 de la Norma E 0.30-2014 de Diseño sismorresistente el límite de distorsión de entrepiso es 0.7% ; luego el proyecto se modificó agregando muros de albañilería confinada sólo en el eje X de la estructura para proporcionarle mayor rigidez. Por lo que el límite de distorsión de entrepiso para el eje X es de 0.5% que es el indicado para estructura de albañilería confinada mientras que para el eje Y es de 0.7% que corresponde para un sistema de concreto armado.

SISMO	Max. distorsión obtenida ‰	Distorsión adm. ‰ (50% de la máx. permitida)
Eje X-X	2.55	5.00
Eje Y-Y	9.35	7.00

**Tabla 5.8** Máxima distorsión obtenida en la dirección X e Y.

En la dirección de análisis Y, la distorsión obtenida es mayor que la admisible señalada por el reglamento, esto significa que para este edificio, debemos considerar la posible irregularidad torsional de la estructura y para ello debemos proceder con la segunda condición, la misma que establece que si el desplazamiento máximo es 1.5 veces mayor que el desplazamiento promedio, la estructura califica como irregular. La Tablas 5.9 muestran los resultados del análisis de esta segunda condición.

Nivel	Desplazamiento maximo (mm)	Desplazamiento promedio (mm)	Ratio	Dmax/ Dpro	Configuración
6°	168.94	149.30	1.18	1.13	Regular
5°	167.80	138.13	1.37	1.21	Regular
4°	135.39	110.64	1.36	1.22	Regular
3°	100.36	81.50	1.35	1.23	Regular
2°	64.18	51.85	1.34	1.24	Regular
1°	27.19	22.45	1.30	1.21	Regular

**Tabla 5.9** Desplazamiento máximo y promedio en la dirección Y-Y.

Desplazamiento promedio:

El desplazamiento promedio es el que se toma en el centro de masas del edificio que es equivalente a hallar el promedio entre el desplazamiento de entrepiso máximo y el desplazamiento de entrepiso de la esquina opuesta como lo establece la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente

Desplazamiento máximo:

Para determinar los desplazamientos máximos se analizan las esquinas de la edificación y se toman los desplazamientos que mostraron valores superiores a los obtenidos en el centro de masas.

Según la Tabla 5.9 no se observó irregularidad alguna, por lo que  $I_p = 1$

**g. Coeficiente básico de reducción sísmica ( $R_0$ )**

Entonces:

$$R_y = R_{0y} \times I_a \times I_p$$

$$R_y = 7 \times 1 \times 1$$

$$R_y = 7$$

**h. Factor de Amplificación Sísmica ( $C$ )**

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica con la siguiente expresión:

$$\bullet \text{ si } T < T_p \quad \text{entonces } C = 2.5$$

$$\bullet \text{ si } T_p < T < T_l \quad \text{entonces } C = 2.5 \times T_p / T$$

$$\bullet \text{ si } T > T_l \quad \text{entonces } C = 2.5 \times T_p \times T_l / T^2$$

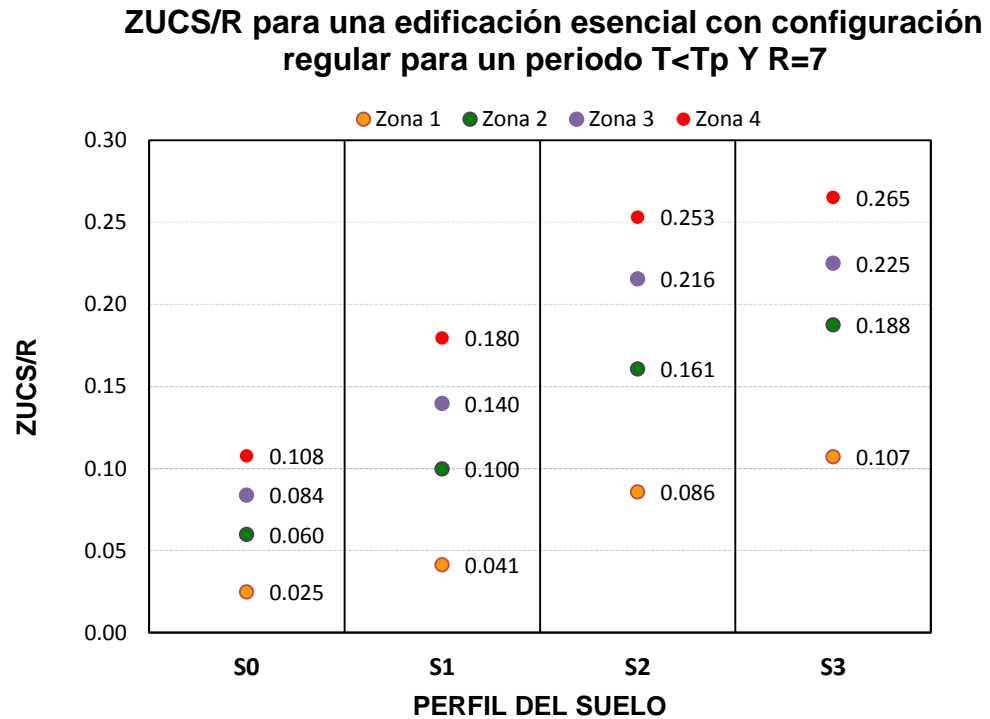
Donde  $T$  = Periodo fundamental de vibración de la estructura

$$\bullet \quad T_x = 0.518; \text{ entonces } C = 2.5$$

$$\bullet \quad T_y = 0.290; \text{ entonces } C = 2.5$$

**5.4.2. ZUCS/R**

Según la sección 4.1 menciona que los parámetros anteriormente hallados corresponden a una zona altamente sísmica y con un perfil de suelo blando comparado a cualquier otra zona sísmica y a otro perfil de suelo en el Perú. Según la Figura 5.4 muestra que el ZUCS/R más alto es 0.265, el cual corresponde a este proyecto.



**Figura 5.4** ZUCS/R según las diferentes zonas sísmicas y perfiles de suelo del Perú.

#### 5.4.3. Fuerza cortante en la base

$$V_x = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times P \rightarrow V = \frac{0.45 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.1}{3} \times 1254.61 \text{ tn} = 0.618 \times 1234 = 776.35 \text{ tn}$$

$$V_y = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} \times P \rightarrow V = \frac{0.45 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.1}{7} \times 1254.18 \text{ tn} = 0.265 \times 1234 = 332.72 \text{ tn}$$

Donde:

P: Peso de la edificación desde el nivel 1 al nivel 6

En resumen se obtiene:

Parámetro	Dirección X-X	Dirección Y-Y
<b>Tp</b>	1.00	1.00
<b>Tl</b>	1.60	1.60
<b>T</b>	0.292	0.537
<b>Z</b>	0.45	0.45
<b>U</b>	1.50	1.50
<b>C</b>	2.50	2.50
<b>C diseño</b>	2.50	2.50
<b>S</b>	1.10	1.10
<b>Ro</b>	3.00	6.00
<b>Ia</b>	1.00	1.00
<b>Ip</b>	1.00	1.00
<b>Sistema</b>	Regular	Regular
<b>R</b>	<b>3.00</b>	<b>7.00</b>
<b>C/R</b>	0.833	0.357
<b>ZUCS/R</b>	0.6188	0.2652
<b>P (ton)</b>	1254.61	1254.61
<b>V est (ton)</b>	<b>776.35</b>	<b>332.72</b>

**Tabla 5.10** Parámetros sísmicos para el análisis estático en el eje X e Y.

#### 5.4.4. Desplazamientos laterales

Los desplazamientos elásticos que se muestran en las Tablas 5.11 y 5.12 son los obtenidos en el software Etabs V13.1.1, dichos desplazamientos fueron tomados en el centro de masas de cada diafragma, adicionalmente estos se multiplicaron por 0.75 del valor de R por ser una estructura regular.

$$Factor = 0.75 \times R = 0.75 \times 7$$

$$Factor = 5.25$$

Este es un paso necesario que posteriormente nos ayudara a verificar y determinar si existe irregularidad torsional en el diseño planteado.

Nivel	hi (mm)	SISMO X-X				
		Desplaz. del centro de masa (mm)	Desplaz. inelástico en centros de masa (mm)	Desplaz. relativo en centros de masa (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
Planta 6	3200	19.64	44.19	7.03	2.20	5.00
Planta 5	3200	16.52	37.17	7.17	2.24	5.00
Planta 4	3200	13.33	30.00	7.84	2.45	5.00
Planta 3	3200	9.85	22.16	8.15	2.55	5.00
Planta 2	3200	6.23	14.01	7.84	2.45	5.00
Planta 1	3000	2.74	6.17	6.17	2.06	5.00

**Tabla 5.11** Control de derivas en la dirección X – X.

Nivel	hi (mm)	SISMO Y-Y				
		Desplaz. del centro de masa (mm)	Desplaz. inelástico en centros de masa (mm)	Desplaz. relativo en centros de masa (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
Planta 6	3200	29.76	156.22	17.54	5.48	7.00
Planta 5	3200	26.41	138.68	27.14	8.48	7.00
Planta 4	3200	21.25	111.54	29.33	9.16	7.00
Planta 3	3200	15.66	82.22	29.90	9.34	7.00
Planta 2	3200	9.97	52.32	29.91	9.35	7.00
Planta 1	3000	4.27	22.41	22.41	7.47	7.00

**Tabla 5.12** Control de derivas en la dirección Y – Y.

#### 5.4.5. Resultados

- El sistema estructural del edificio es de Albañilería Confinada en la dirección X y Dual tipo I en la dirección Y.
- La estructura no presenta irregularidad torsional en la dirección X e Y.
- El valor del coeficiente de reducción sísmica en el eje X es  $R=3$  y para el eje Y es  $R=7$ , debido a que la estructura no presenta irregularidades tanto en planta como en altura.
- El valor de la cortante basal para el eje X es de 776.92 ton y para el eje Y es de 322.69 ton.

- El desplazamiento lateral en la dirección Y no satisface el límite para la distorsión del entrepiso según la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente, teniendo una distorsión máxima de 9.35 ‰.

## 5.5. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL

Para obtener el espectro de aceleraciones, se emplearon los siguientes parámetros:

Parámetro	Dirección X-X	Dirección Y-Y
<b>Z</b>	0.45	0.45
<b>U</b>	1.50	1.50
<b>C</b>	2.50	2.50
<b>S</b>	1.10	1.10
<b>R</b>	3.00	7.00

**Tabla 5.13** Parámetros sísmicos para la definición del espectro de aceleraciones.

### 5.5.1. Verificación de la masa participativa

Según la sección 4.6.1 Modos de Vibración de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente establece que para el análisis se deben considerar el número de modos necesarios para que la suma de masas efectivas sea mayor o igual al 90% de la masa de la estructura, siendo además importante que los 3 primeros modos de vibración sean los más predominantes en cada dirección de análisis.

Sin embargo por lo general se trabaja con 3 modos por piso, en este caso se utilizaron un total de  $6 \times 3 = 18$  modos de vibración para el análisis. La Tabla 5.14 muestra los periodos de vibración de la estructura así como la masa participativa por cada modo considerado.

Se satisfacen ambos requerimientos, la masa participativa en ambas direcciones es superior al 90% y además entre los tres primeros modos de vibración (en cada dirección de análisis) se llega a sumar un porcentaje dominante.



Modo	Periodo T (s)	Masa Participativa	
		Masa X-X %	Masa Y-Y %
1	0.518	0.00	<b>75.94</b>
2	0.290	<b>50.31</b>	0.37
3	0.216	28.35	0.20
4	0.168	0.48	13.98
5	0.143	0.00	0.05
6	0.103	0.15	0.89
7	0.083	0.10	0.19
8	0.083	0.02	0.07
9	0.081	0.03	0.04
10	0.080	0.33	0.74
11	0.077	0.00	0.04
12	0.077	5.33	1.38
13	0.072	7.10	0.31
14	0.069	0.00	0.00
15	0.063	0.06	0.01
16	0.061	0.10	2.80
17	0.058	0.21	0.34
18	0.057	0.01	0.02
<b>Sumatoria</b>		<b>92.59</b>	<b>97.37</b>

**Tabla 5.14** Masas participativas según los periodos de vibración.

### 5.5.2. Verificación de la fuerza cortante mínima en la base

Según la sección 4.6.4 Fuerza cortante mínima de la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente señala que la cortante basal dinámica no debe ser menor al 80% de la cortante basal obtenida en el análisis estático.

En el caso de que esto no se diera, se debe incrementar la cortante dinámica hasta que sea mayor al mínimo especificado, además se deberán escalar todos los resultados obtenidos de este análisis, excepto los desplazamientos.

$$\text{Factor de escala} = \frac{0.8 V. \text{Estática}}{V. \text{Dinámica}} \quad (\text{Estructuras Regulares})$$

La Tabla 5.15 muestra los cortantes basales según los análisis estático y dinámico; además se muestra el factor escala.

	V Estática (tn)	80% V Estática (tn)	V Dinámica (tn)	Factor de Escala
<b>Sismo X-X</b>	776.35	621.08	337.55	1.840
<b>Sismo Y-Y</b>	332.72	266.18	147.60	1.803

**Tabla 5.15** Factor escala para un cortante basal dinámico al 80% del cortante basal estático.

En consecuencia se tendrá que modificar el factor de escala en el software Etabs v13.1.1 para poder alcanzar el 80% del cortante basal Estático.

Factor de escala en Etabs:

$$\text{Eje X} \quad gx1.317 = 9.8067 \times 1.840 = 18.044$$

$$\text{Eje Y} \quad gx1.028 = 9.8067 \times 1.803 = 17.681$$

Verificando la cortante dinámica en los pisos, se puede corroborar que se satisface el mínimo especificado (80% V estático) por la Norma E.030-2014 de Diseño Sismorresistente.

Nivel	V Dinámica en X (tn)	Nivel	V Dinámica en Y (tn)
Sexto	74.77	Sexto	31.31
Quinto	204.77	Quinto	85.12
Cuarto	349.32	Cuarto	142.74
Tercero	477.15	Tercero	193.54
Segundo	574.27	Segundo	238.37
<b>Primero</b>	<b>621.09</b>	<b>Primero</b>	<b>266.12</b>
<b>80% V Estática</b>	<b>621.08</b>	<b>80% V Estática</b>	<b>266.18</b>

**Tabla 5.16** Cortante basal final en los diferentes niveles de las direcciones X e Y.

### 5.5.3. Desplazamientos laterales

Los desplazamientos elásticos que se muestran en las Tablas 5.18 y 5.19 son los obtenidos de este análisis (dinámico espectral); dichos desplazamientos fueron tomados en el centro de masas de cada diafragma, adicionalmente estos se multiplican por 0.75 del valor de R.

Nivel	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Desplazamientos inelásticos en centro de masas(mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control E 0.30 (‰)
6°	14.54	32.71	3200	1.55	5.00
5°	12.33	27.74	3200	1.55	5.00
4°	10.12	22.77	3200	1.81	5.00
3°	7.54	16.97	3200	1.81	5.00
2°	4.97	11.18	3200	1.94	5.00
1°	2.21	4.97	3000	1.66	5.00

**Tabla 5.17** Control de derivas en la dirección X – X.

Nivel	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control E 0.30 (‰)
6°	21.28	111.70	3200	2.37	7.00
5°	19.83	104.12	3200	5.62	7.00
4°	16.41	86.14	3200	6.51	7.00
3°	12.44	65.31	3200	6.80	7.00
2°	8.29	43.54	3200	7.69	7.00
1°	3.61	18.93	3000	6.31	7.00

**Tabla 5.18** Control de derivas en la dirección Y-Y.

### 5.5.4. Resultados

- El valor de la cortante basal para las dos direcciones se basó en el 80% del cortante basal del análisis sísmico estático: en el eje X de 621.08 ton y para el eje Y es de 266.18 ton.
- Para asumir el valor del 80% del cortante basal se ingresó al sistema un factor de escala para el eje X de 1.84 y para el eje Y de 1.803

- En el eje X se observa una deriva máxima de 1.94 ‰, valor que es menor según el máximo valor estipulado de 5.0 ‰ para sistema de albañilería y para el eje Y la deriva de entrepiso máxima es de 7.69 ‰, valor que es superior al límite de 7.0 ‰ para estructuras de concreto armado.

## **5.6. REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOSOS**

Hasta el momento, para la optimización de la estructura se ha empleado el enfoque de diseño sismorresistente tradicional, es decir, se le ha provisto de una combinación de resistencia y ductilidad para que tenga un mejor comportamiento ante solicitaciones sísmicas.

Sin embargo si se presentase un evento sísmico los daños estructurales provocados por las deformaciones plásticas (por la disipación de la energía entrante únicamente por la estructura) serían importantes.

Como se vio anteriormente, el desempeño estructural puede ser optimizado incrementando el amortiguamiento interno a través de disipadores de energía, es por esto que se anexaron disipadores de energía viscosos (al edificio ya estructurado), de esta manera se pretende incrementar el amortiguamiento del sistema y aminorar la demanda de disipación de energía a través de la inelasticidad en los elementos estructurales, evitando de esta manera la posible falla de los mismos ante un evento sísmico.

Se emplearon normas americanas para:

- Realizar el análisis estructural de la edificación (ASCE 7-10)
- Calcular las propiedades del disipador de energía (Fema 273-274)

### **5.6.1. Espectro de diseño**

Los parámetros sísmicos son los mismos que se emplearon en la sección 5.5, esta vez se ha considerado el valor de  $R = 1$ .

Parámetro	Dirección X-X	Dirección Y-Y
<b>Z</b>	0.45	0.45
<b>U</b>	1.50	1.50
<b>C</b>	2.50	2.50
<b>S</b>	1.10	1.10
<b>R</b>	1.00	1.00

**Tabla 5.19** Parámetros sísmicos para la definición del espectro de aceleración.

Con los parámetros en la Tabla 5.20, obtenemos el espectro de pseudo-aceleraciones ( $S_a$ ).

$$S_a = \frac{ZxUxSxC}{R} xg = \frac{0.45x1.5x1.1x2.5}{1} xg = \mathbf{1.856xg}$$

Las derivas obtenidas del análisis dinámico espectral con  $R=1$  en el espectro de diseño se muestran en las Tablas 5.21 y 5.22.

NIVEL	Desplazamiento en el centro de masa (mm)	Desplazamiento relativo en el centro de masa (mm)	Altura de piso	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
<b>Sexto</b>	40.20	6.80	3200	0.0021	2.13	5.00
<b>Quinto</b>	33.40	6.50	3200	0.0020	2.03	5.00
<b>Cuarto</b>	26.90	6.90	3200	0.0022	2.16	5.00
<b>Tercero</b>	20.00	7.30	3200	0.0023	2.28	5.00
<b>Segundo</b>	12.70	7.10	3200	0.0022	2.22	5.00
<b>Primer</b>	5.60	5.60	3000	0.0019	1.87	5.00

**Tabla 5.20** Control de derivas en dirección X – X para un  $R=1$ .

Nivel	Desplazamiento en el centro de masa (mm)	Desplazamiento realtivo en el centro de masa (mm)	Altura de piso	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
<b>Sexto</b>	166.40	10.80	3200	0.0034	3.38	7.00
<b>Quinto</b>	155.60	29.20	3200	0.0091	<b>9.13</b>	7.00
<b>Cuarto</b>	126.40	32.40	3200	0.0101	<b>10.13</b>	7.00
<b>Tercero</b>	94.00	33.50	3200	0.0105	<b>10.47</b>	7.00
<b>Segundo</b>	60.50	34.70	3200	0.0108	<b>10.84</b>	7.00
<b>Primer</b>	25.80	25.80	3000	0.0086	<b>8.60</b>	7.00

**Tabla 5.21** Control de derivas en dirección Y – Y para un  $R=1$ .

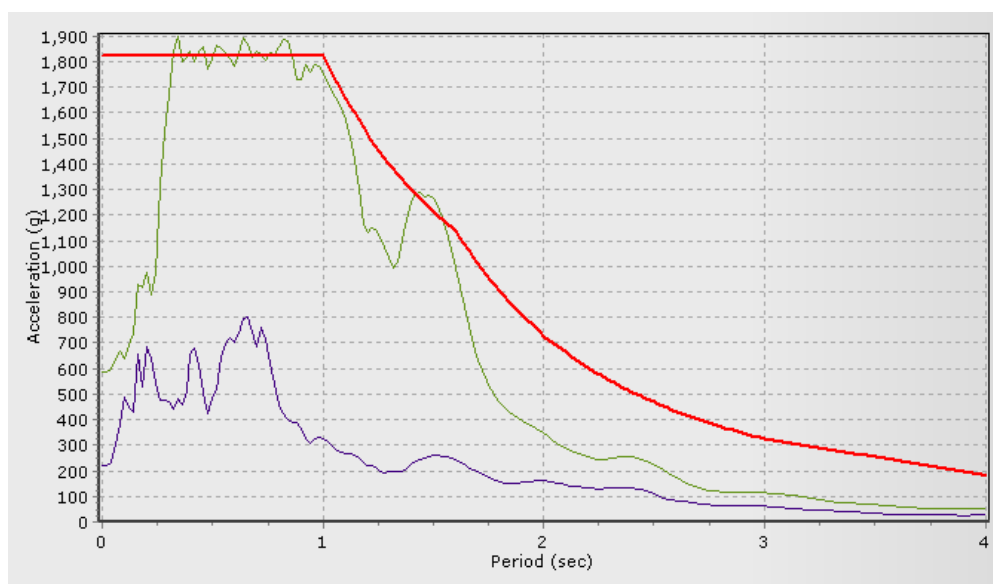
### 5.6.2. Escalamiento de acelerogramas al espectro de diseño

Los registros sísmicos fueron obtenidos de la página de Cismid <http://sig.cismid-uni.org/redacis> y con colaboración del Sr Lucio Estacio Flores (Jefe del Centro de Cómputo en Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID) se consideró para el siguiente trabajo los sismos de la Figura 5.22.

Sismo	Ubicación de la estación	Escala de Magnitud	Frecuencia de muestreo	Tipo de Suelo
13 de Junio del 2005	Characato Geophysic Institute of UNAS, Arequipa, Arequipa	7.2 ML	200 Hz	S2
15 de Agosto del 2007	San Luis Gonzaga National University, Ica, Ica	7.0 ML	100 Hz	S3
23 de Junio del 2001	Rolando Catacora Sports Complex - Regional Government of Moquegua, Moquegua, Mariscal Nieto	6.9 Mb	100 Hz	S2

**Tabla 5.22** Características de los registros sísmicos estudiados.

Según la información obtenida en la página mencionada líneas arriba, se desglosó algunas características importantes para poderlas comparar una vez escaladas con ayuda al software Seismomatch. La Figura 5.5 muestra un ejemplo de la importancia del software; la línea roja es el espectro de diseño con  $R=1$ , la línea azul es el espectro del registro sísmico en estudio que en este caso pertenece al sismo de Moquegua con dirección N-S en el eje Y, la línea verde es el espectro del registro sísmico de Moquegua escalado al espectro de diseño por el software Seismomatch.



**Figura 5.5** Escalamiento de espectro del sismo de Moquegua al espectro de diseño.

De la información obtenida, hallamos las aceleraciones máximas de los sismos tanto en los componentes E-W como en N-S (Figura 5.23). Una vez escalados tanto el caso uno como el caso dos de todos los registros sísmicos en estudio, se hallaron las aceleraciones máximas según la Figura 5.24.

Localización de la estación	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (m/2)	Duración (seg)
Arequipa	13 de Junio del 2005	E-W	-138.5	178.00
		N-S	125.43	
Ica	15 de Agosto del 2007	E-W	-272.82	218.06
		N-S	333.66	
Moquegua	23 de Junio del 2001	E-W	-295.15	198.91
		N-S	219.99	

**Tabla 5.23** Aceleraciones máximas de los tres registros en estudio.

Localización de la estación	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (m/2)	Duración (seg)
Arequipa	13 de Junio del 2005	E-W	-879.55	178.00
		N-S	776.77	
Ica	15 de Agosto del 2007	E-W	-708.49	218.06
		N-S	500.83	
Moquegua	23 de Junio del 2001	E-W	-614.80	198.91
		N-S	584.69	

**Tabla 5.24** Aceleraciones máximas de los tres registros escalados al espectro de diseño.

### 5.6.3. Análisis tiempo – historia

Una vez obtenidos los registros escalados al espectro de diseño, se ingresan los registros Tiempo (seg.) vs. Aceleraciones (cm/s<sup>2</sup>) al software Etabs v13.1.1 para realizar un análisis tiempo-historia, de esto se obtienen las distorsiones de entrepiso tanto en la dirección X (Tabla 5.25) como en la dirección Y (Tabla 5.26), considerando las distorsiones de entrepiso según el análisis espectral con el espectro de diseño.

Nivel	Análisis dinámico espectral ‰	Arequipa 2005		Ica 2007		Moquegua 2001	
		Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
<b>Sexto</b>	2.13	2.44	2.19	2.06	0.94	1.63	2.16
<b>Quinto</b>	2.03	2.22	2.06	2.03	0.96	1.69	1.63
<b>Cuarto</b>	2.16	2.19	2.25	2.25	1.06	1.81	1.75
<b>Tercero</b>	2.28	2.31	2.41	2.41	1.13	1.91	1.91
<b>Segundo</b>	2.22	2.25	2.41	2.38	1.13	1.81	2.06
<b>Primero</b>	1.87	1.90	2.00	2.00	0.96	1.50	1.63

**Tabla 5.25** Control de derivas en el eje X del análisis tiempo historia

Nivel	Análisis dinámico espectral ‰	Arequipa 2005		Ica 2007		Moquegua 2001	
		Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
<b>Sexto</b>	3.38	4.97	5.59	4.75	4.48	3.94	5.06
<b>Quinto</b>	9.13	8.94	10.00	8.84	8.98	9.22	9.38
<b>Cuarto</b>	10.13	9.75	10.66	9.69	9.96	10.25	10.16
<b>Tercero</b>	10.47	10.28	11.19	9.75	10.34	10.53	10.31
<b>Segundo</b>	10.84	10.63	11.22	9.81	10.77	10.75	10.19
<b>Primero</b>	8.60	8.47	8.83	7.80	8.72	8.50	7.83

**Tabla 5.26** Control de derivas en el eje Y del análisis tiempo historia de los tres registros sísmicos.

### 5.6.4. Determinación del sismo de diseño

En las Tabla 5.27 y Tabla 5.28 se muestran las variaciones que presentan las derivas calculadas tanto en el análisis tiempo historia como el análisis espectral, como criterio adicional se recomienda descartar aquellos casos en los cuales esta variación sea mayor o igual a  $|\pm 1.0|$  (‰) en cualquiera de las direcciones (sea X o Y).



NIVEL	Arequipa 2005		Ica 2007		Moquegua 2001	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
<b>Sexto</b>	0.31	0.06	-0.06	-1.18	-0.50	0.03
<b>Quinto</b>	0.19	0.03	0.00	-1.07	-0.34	-0.41
<b>Cuarto</b>	0.03	0.09	0.09	-1.10	-0.34	-0.41
<b>Tercero</b>	0.03	0.12	0.13	-1.15	-0.38	-0.38
<b>Segundo</b>	0.03	0.19	0.16	-1.09	-0.41	-0.16
<b>Primero</b>	0.03	0.13	0.13	-0.91	-0.37	-0.23

**Tabla 5.27** Variaciones entre las derivas obtenidas en X-X (dinámico espectral vs tiempo historia).

**Tabla 5.28**

NIVEL	Arequipa 2005		Ica 2007		Moquegua 2001	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
<b>Sexto</b>	1.59	2.22	1.37	1.10	0.56	1.69
<b>Quinto</b>	-0.19	0.88	-0.28	-0.15	0.09	0.25
<b>Cuarto</b>	-0.38	0.53	-0.44	-0.17	0.13	0.03
<b>Tercero</b>	-0.19	0.72	-0.72	-0.13	0.06	-0.16
<b>Segundo</b>	-0.22	0.37	-1.03	-0.08	-0.09	-0.66
<b>Primero</b>	-0.13	0.23	-0.80	0.12	-0.10	-0.77

**Tabla 5.29** Variaciones entre las derivas obtenidas en Y-Y (dinámico espectral vs tiempo historia).

Si analizamos las variaciones de las derivas en el eje X-X se descarta el caso 2 del sismo de Ica 2007, quedando como posibilidad todos los demás casos.

Si analizamos las variaciones de las derivas en el eje Y-Y se descarta el caso 1 y 2 del Sismo de Arequipa, el caso 1 y 2 del Sismo de Ica 2007 y el caso 2 del Sismo de Moquegua, ya que sus derivas comparadas con las demás son superiores a  $|\pm 1.0|$  ‰.

Comparando los dos cuadros anteriores, podemos observar que las derivas del caso 1 del sismo de Moquegua 2001 son inferiores a  $|\pm 1.0|$  (‰) en ambas direcciones, por lo que se determinó que como sismo de diseño se iba a emplear el sismo de Moquegua 2001 – caso 1. Con este sismo se calcularon las propiedades del dissipador de fluido viscoso.

#### 5.6.5. Elección del objetivo de desempeño

Según la importancia de la edificación establecido por el SEAOC en la sección 4.5.3, la estructura en estudio califica como una edificación *esencial*.

Por calificar como edificación *esencial*, la estructura deberá tener un estado de daño *Leve* ya que le corresponde un nivel de desempeño *operacional* para un sismo *raro* de 475 años de periodo de retorno (Tabla 4.2).

#### 5.6.6. Amortiguamiento objetivo

Según el capítulo 5 de Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS nuestra edificación en estudio clasifica como “Edificio aporticado de Concreto Armado de mediana altura”, descrito bajo la abreviatura de CM1.

Por considerarse de una edificación esencial, se debe obtener un nivel de desempeño operacional para poder alcanzar un nivel estado de daño Leve luego de ocurrido el sismo raro; desde el punto de vista estructural, debemos conseguir que la deriva máxima de nuestra edificación sea alrededor de 0.20% siguiendo las recomendaciones del HAZUS para un código sísmico moderado.

El amortiguamiento viscoso de la demanda última se obtiene descontando el amortiguamiento inherente de la estructura de 5%.

Se muestra, a continuación, una tabla con los factores hallados para lograr el desempeño deseado. Adicionalmente se muestra el amortiguamiento objetivo para un estado de daño moderado y para una deriva objetivo según la Norma E.030-2014.

Nivel de daño aceptado	Deriva objetivo (‰)	Factor de reducción (B)	Amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ )	Amortiguamiento Viscoso( $\beta_{visc}$ )
Leve	2.00	5.38	132.34%	127.34%
Moderado	4.20	2.56	58.07%	53.07%
Norma E.030	7.00	1.54	20.36%	15.36%

Amortiguamiento efectivo y viscoso requerido en la dirección Y.

Conseguir un amortiguamiento viscoso para daño leve del 127% y para daño moderado de 53% no resulta factible en términos prácticos y económicos, por lo que decidimos elegir como deriva objetivo 7 ‰ que es el límite máximo de distorsión para estructuras de concreto armado según la Norma Peruana E.030-2014 de Diseño sismorresistente.

Por simplicidad en el procedimiento de cálculo se estableció el porcentaje de amortiguamiento viscoso requerido:

$$B_{\text{visc-y}} = 15.36\%$$

Para calcular el amortiguamiento viscoso necesario para llegar a la deriva objetivo (7%) se sigue el siguiente procedimiento:

Como primer paso se determina el factor de reducción de respuesta (B) mediante el cociente:

$$B = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{objetivo}}}$$

Donde la deriva máxima ( $D_{\text{max}}$ ) es la obtenida del análisis tiempo historia para el sismo de diseño seleccionado.

$$B_{yy} = \frac{0.01075}{0.007} = 1.536$$

Luego, se determina el amortiguamiento efectivo ( $\beta_{\text{eff}}$ ) despejando la siguiente ecuación.

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_o)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}})}$$

Donde  $\beta_o$  es el amortiguamiento inherente de la estructura que usualmente se fija en 5% para estructuras de concreto armado.

De esta manera se obtiene el amortiguamiento efectivo, este incluye la acción del disipador de energía y el amortiguamiento inherente de la estructura:

$$B_{\text{eff}yy} = 20.36\%$$

Descontando el amortiguamiento inherente se obtiene el amortiguamiento viscoso que se requiere.

$$B_{Hy} = 15.36\%$$

## Consideraciones adicionales

Según los fabricantes, se recomienda que los disipadores de energía viscosos sean diseñados teniendo en consideración para el cálculo un amortiguamiento viscoso ( $\beta H$ ) de entre 20 a 40%.

Para poder obtener derivas máximas menores que 7‰ se trabajará con un amortiguamiento viscoso de 25%.

Partimos del amortiguamiento viscoso, que para este trabajo se fijó en 25%.

$$B_{Hy} = 25\%$$

En consecuencia el amortiguamiento efectivo será el siguiente:

$$B_{effy} = B_{Hy} + 5\% = 30\%$$

Despejamos el factor de reducción  $B_{yy}$  de la siguiente ecuación:

$$B_{yy} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

$$B_{yy} = 1.8024$$

Así, la deriva que se alcanzaría (deriva esperada) considerando un amortiguamiento viscoso de 25% sería:

$$B_{yy} = \frac{D_{max}}{D_{esperada}} \Rightarrow D_{esperada} = \frac{D_{max}}{B_{yy}}$$

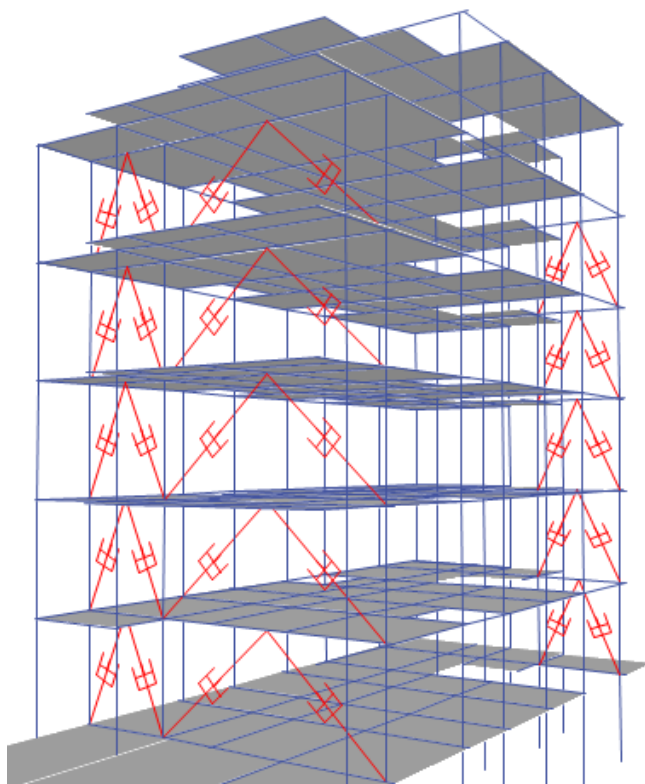
$$D_{esperada} = \frac{10.75}{1.802} = 5.96$$

### 5.6.7. Disposición y ubicación de los disipadores de fluido viscoso.

Para lograr ubicar los brazos metálicos de los disipadores se tuvo en cuenta que mientras más alejados del centro de masas, su comportamiento es eficiente. Observando la arquitectura de la edificación se lograron ubicar estratégicamente los disipadores en la dirección Y (Figura 5.6) ya que es la dirección que se necesita reducir las derivas de entrepiso, los disipadores se ubicaron en dos pórticos del ingreso y en un pórtico en la parte posterior del edificio.

La disposición con la que se decidió analizar la estructura fue del tipo Chevron por la ventaja que tiene de controlar mejor las derivas de entrepiso.

A continuación se muestran la ubicación de los brazos metálicos y la disposición de los disipadores de energía propuesta mediante gráficos obtenidos del programa ETABS.



**Figura 5.6** Disposición de los disipadores de fluido viscoso en la estructura.

### 5.6.8. Cálculo de las propiedades del disipador

#### a. Cálculo de la rigidez

Se inicia la interacción considerando un perfil metálico estándar HSS o PiPE STD, en el presente trabajo se partió de un perfil del tipo HSS 7.50 x 0.50

Las propiedades de ese perfil son las siguientes:

Dimensiones HSS 7.50 x 0.50				
D ext (in)	D int (in)	Espesor (in)	Area (in 2)	Inercia (in 4)
7.5	7.035	0.465	10.3	63.9

**Tabla 5.30** Dimensiones del perfil metálico HSS 7.50x0.50.

Con los datos del perfil y la geometría de la estructura, se procede a definir la rigidez del sistema:

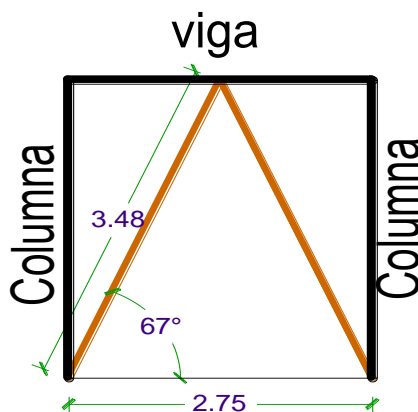
$$K = \frac{EA}{L}$$

Dónde:

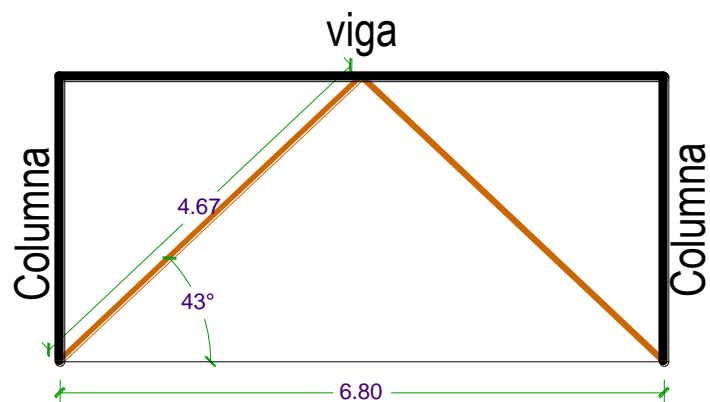
$$E \text{ Acero} = 29\,000 \text{ ksi} = 20.4 \times 10^6 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Área} = 10.3 \text{ in}^2 = 66.45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

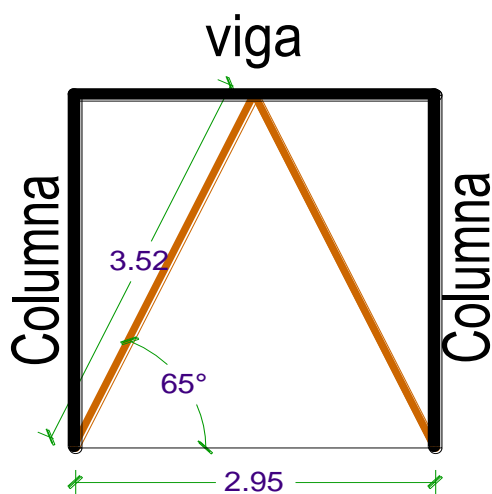
L es la longitud del brazo metálico, en las imágenes de las Figuras 5.7, 5.8, 5.9, se muestra el valor de la longitud del brazo metálico.



**Figura 5.7** Longitud del brazo metálico del pórtico 1.



**Figura 5.8** Longitud del brazo metálico del pórtico 2.



**Figura 5.9** Longitud del brazo metálico del pórtico 3.

Características del perfil metálico			
	Pórtico 1	Pórtico 2	Pórtico 3
Longitud (m)	3.48	4.67	3.52
Rigidez (tn/m)	38,919.90	29,033.63	38,499.86

**Tabla 5.31** Características del perfil metálico HSS 7.50x0.50.

## b. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento

El primer paso corresponde a la definición del exponente de velocidad “ $\alpha$ ”. Para este caso, por tratarse de un dispositivo no lineal, se consideró un  $\alpha = 0.6$  dado que con el coeficiente de amortiguamiento 0.4 y 0.5 no cumplía con la deriva esperada. Una vez culminado esto, se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \delta_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1+\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \delta_i^2}$$

Dónde:

- $\beta_H$ : Amortiguamiento viscoso de la estructura
- $C_j$ : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j
- $m_i$ : Masa del nivel i
- $\theta_j$ : Ángulo de inclinación del disipador j
- $\delta_i$ : Desplazamiento modal en el nivel i (correspondiente al primer modo de vibración)
- $\delta_{rj}$ : Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (correspondiente al primer modo de vibración)
- $A$ : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modal relativo desde el techo hasta la base)
- $\omega$ : Frecuencia angular
- $\lambda$ : Parámetro lambda

Las siguientes Tablas muestran las variables necesarias para poder hallar  $C_j$ .

Modo	Periodo T (s)	Masa Participativa	
		Masa X-X %	Masa Y-Y %
1	0.518	0.00	<b>75.94</b>
2	0.290	<b>50.31</b>	0.37
3	0.216	28.35	0.20

**Tabla 5.32** Periodo fundamental de la estructura en Y-Y.



Nivel	Modo	Desplazamiento Modal (m)
Sótano	1	0.0000
Primero	1	0.0202
Segundo	1	0.0476
Tercero	1	0.0745
Cuarto	1	0.1006
Quinto	1	0.1241
Azotea	1	<b>0.1346</b>

**Tabla 5.33** Desplazamiento modal según el primer modo de vibración.

Nivel	$\Phi_i$	$\Phi_{i+1}$	$\Phi_{rj}$
Sótano	0.0000	0.0202	0.0202
Primero	0.0202	0.0476	0.0274
Segundo	0.0476	0.0745	0.0269
Tercero	0.0745	0.1006	0.0261
Cuarto	0.1006	0.1241	0.0235
Quinto	0.1241	0.1346	0.0105

**Tabla 5.34** Desplazamiento modal relativo.

### c. Cálculo del coeficiente de amortiguamiento

El parámetro  $\lambda$  es dependiente del valor del exponente de velocidad ( $\alpha$ ); El FEMA 274 nos facilita la Tabla 5.34 para poder hallar  $\lambda$  según el exponente  $\alpha$  utilizado para el proyecto.

<b>Table C9-4 Values of Parameter <math>\lambda</math></b>	
<b>Exponent <math>\alpha</math></b>	<b>Parameter <math>\lambda</math></b>
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

**Tabla 5.35** Parámetro  $\lambda$  según FEMA 274.

Así con estos datos se procede a calcular la frecuencia angular ( $\omega$ ) y posteriormente el coeficiente de amortiguamiento del disipador ( $C_j$ )

Nivel	Masa (tn*s2/m)	$\theta_j$	COS $\theta_j$	$\cos\theta_j^{(1+\alpha)} * \Phi r_j^{(1+\alpha)}$	$m*\Phi i^2$
Primero	22.88	0°	1.00	0.0019	0.00936
Segundo	24.15	0°	1.00	0.0032	0.05476
Tercero	24.15	0°	1.00	0.0031	0.13413
Cuarto	24.53	0°	1.00	0.0029	0.24835
Quinto	21.03	0°	1.00	0.0025	0.32402
				<b>0.0136</b>	<b>0.77063</b>

**Tabla 5.36** Cálculos para hallar  $C_j$ .

Considerando un amortiguamiento viscoso de  $\beta_{Hyy} = 25\%$  y asumiendo que todos los disipadores tendrán el mismo coeficiente de amortiguamiento, se procede a resolver la siguiente ecuación:

$$\sum C_j = \frac{\beta_H 2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)} = \frac{0.30 \times 2\pi \times 0.134^{1-0.6} \times 12.13^{2-0.6} \times (0.7706)}{3.42(0.0136)}$$

$$\sum C_j = 384.27$$

Empleando seis disipadores de energía de fluido viscoso por nivel, se tendrá que:

$$C_j = 64.05 \text{ tn} * \frac{s}{m}$$

El valor de  $C_j$  se tomó como 65 t\*s/m; así finalmente, las propiedades de los disipadores son las siguientes:

	Pórtico 1	Pórtico 2	Pórtico 3
$C_j$ (tn*s/m)	65	65	65
K (tn/m)	38,919.90	29,033.63	38,499.86
$\alpha$	0.60	0.60	0.60

**Tabla 5.37** Propiedades de los disipadores de fluido viscoso en los tres pórticos ubicados.

## 5.7. RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON DISIPADORES

### 5.7.1. Reducción de derivas

Como se puede observar la deriva máxima de 10.75‰ (edificio sin disipadores) se redujo hasta 5.82 ‰, valor que es mucho menor a la deriva objetivo (7.0‰) de esta manera se satisfacerle las condiciones de la norma en cuanto al control de derivas.

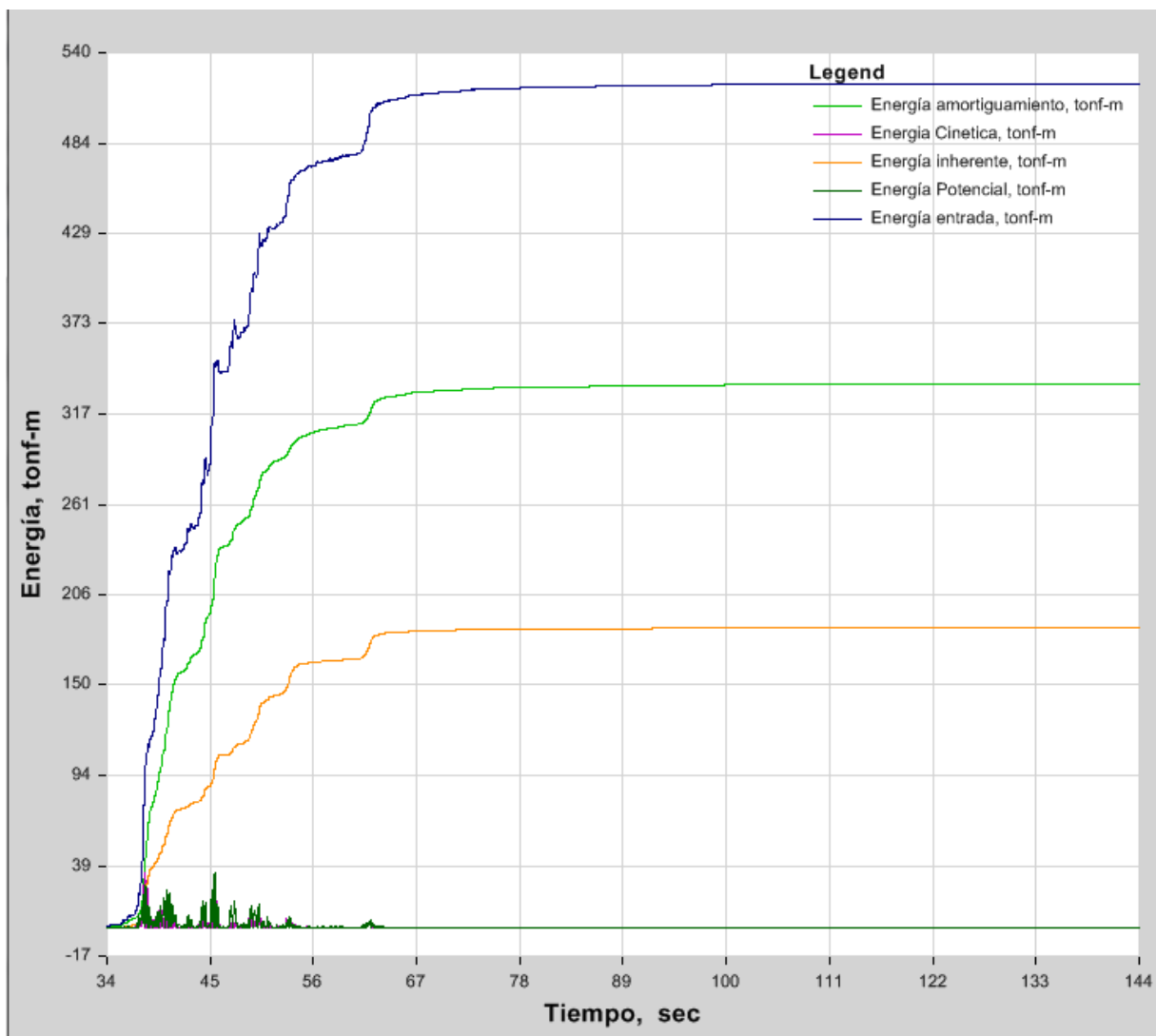
Además es importante mencionar que la deriva máxima esperada considerando un amortiguamiento viscoso de 25% era de 5.96 ‰; la deriva máxima obtenida de 5.94‰ está muy cerca de este valor, por lo que se verifica que efectivamente el amortiguamiento es de 30%.

Nivel	Desplazamientos en centros de masas (mm)	Altura de Piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control RNE 0.30 (‰)
Primero	90.7	3200	2.22	7.00
Segundo	83.6	3200	4.75	7.00
Tercero	68.4	3200	5.28	7.00
Cuarto	51.5	3200	5.63	7.00
Quinto	33.5	3200	5.94	7.00
Azotea	14.5	3200	4.53	7.00

**Tabla 5.38** Control de derivas en el eje Y según análisis tiempo historia del sismo de Moquegua.

### 5.7.2. Balance de energía

La energía de entrada (input) se muestra en la línea color azul, la energía de amortiguamiento inherente a la estructura en la línea color naranja y la de los dispositivos viscosos en la línea color verde.



**Figura 5.10** Balance de energía con disipadores de energía.

El porcentaje de disipación de energía se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ disipación de energía} = \frac{E. \text{ del sistema de amortiguamiento}}{E. \text{ de ingreso del sismo}}$$

ENERGIA		
Entrada	Inherente a la Estructura	Disipadores
520.83	185.19	335.58
100%	35.6%	64.4%

**Tabla 5.38** Porcentaje de disipación de energía en la estructura con disipadores.

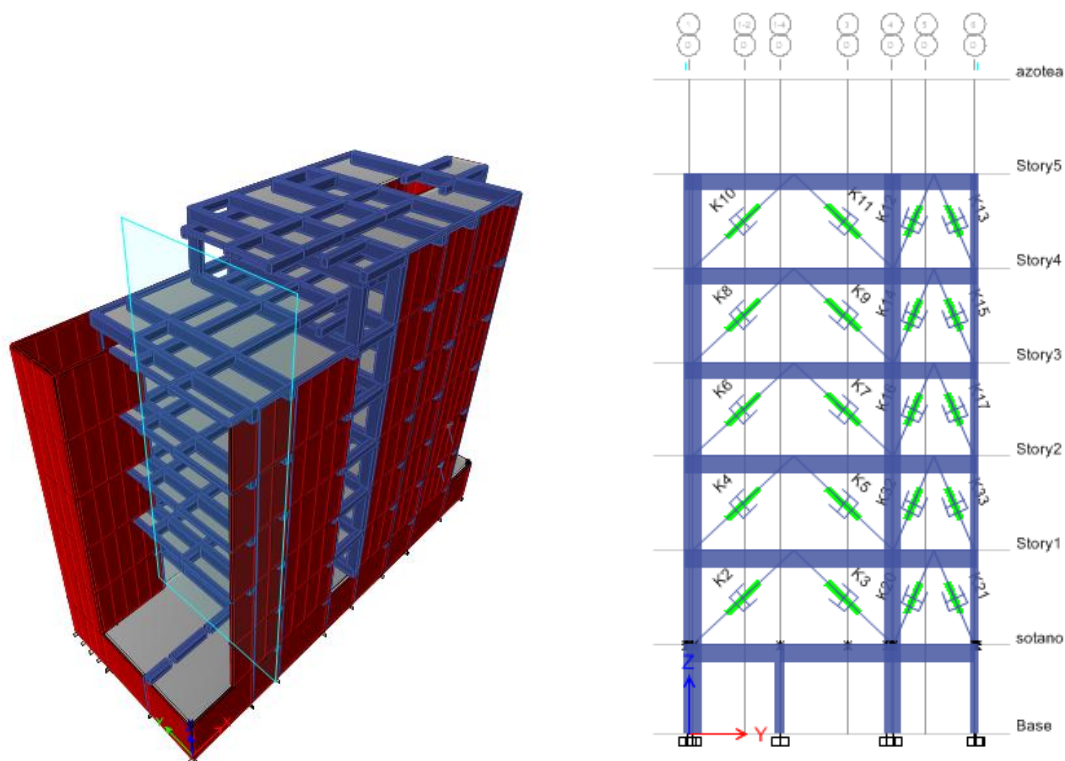
En la Tabla 5.38 se puede apreciar que la mayor parte de la energía es tomada por el sistema de disipación (64% de la energía de entrada). Este porcentaje es significativo y se debe principalmente a la cantidad de disipadores fluido -viscosos empleados (30 dispositivos).

Con este porcentaje de disipación podemos esperar la disminución de desplazamientos en los centros de masa de los pisos, así como la reducción de fuerzas y momentos en los diferentes elementos estructurales.

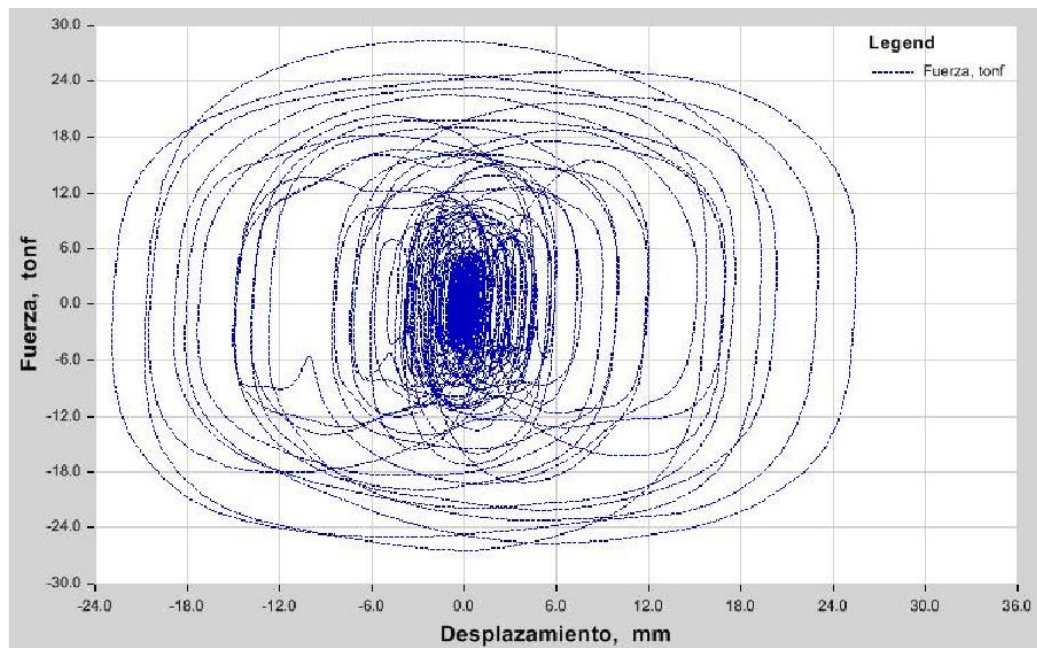
### 5.7.3. Verificación del comportamiento histerético

A continuación se presenta la gráficas de Desplazamiento vs Fuerza (curva de histéresis) de los disipadores con el objetivo de mostrar el comportamiento elíptico de estos, el mismo que corresponde a la conducta esperada según la sección 3.3.3.

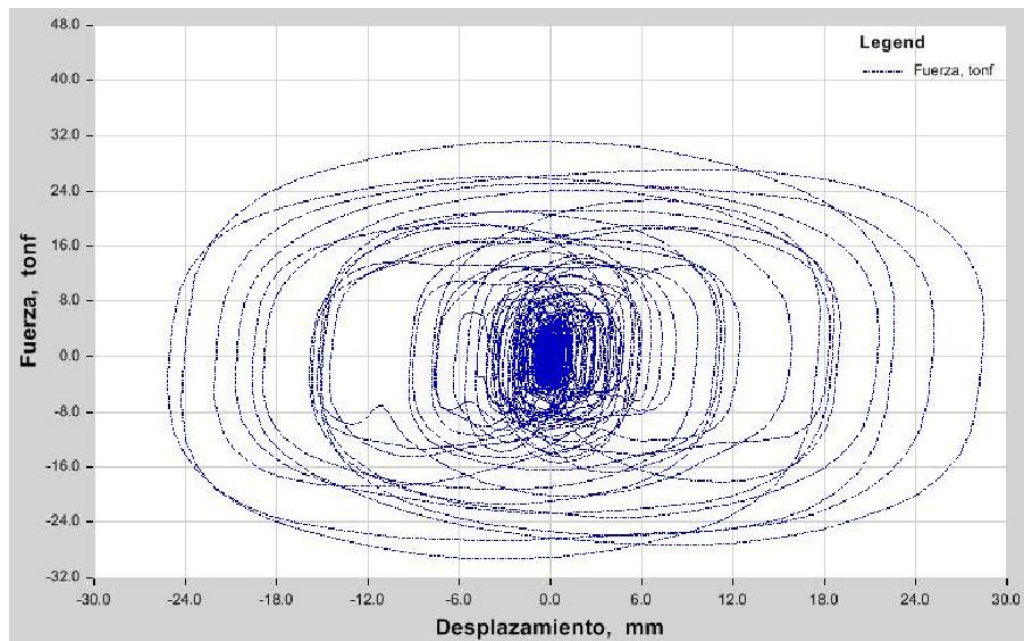
Por la cantidad de disipadores solo se mostrará la curva histerética de alguno de ellos (aquellos que reflejen un comportamiento representativo).



**Figura 5.11** Vistas en 3D y 2D de los disipadores en el eje D.

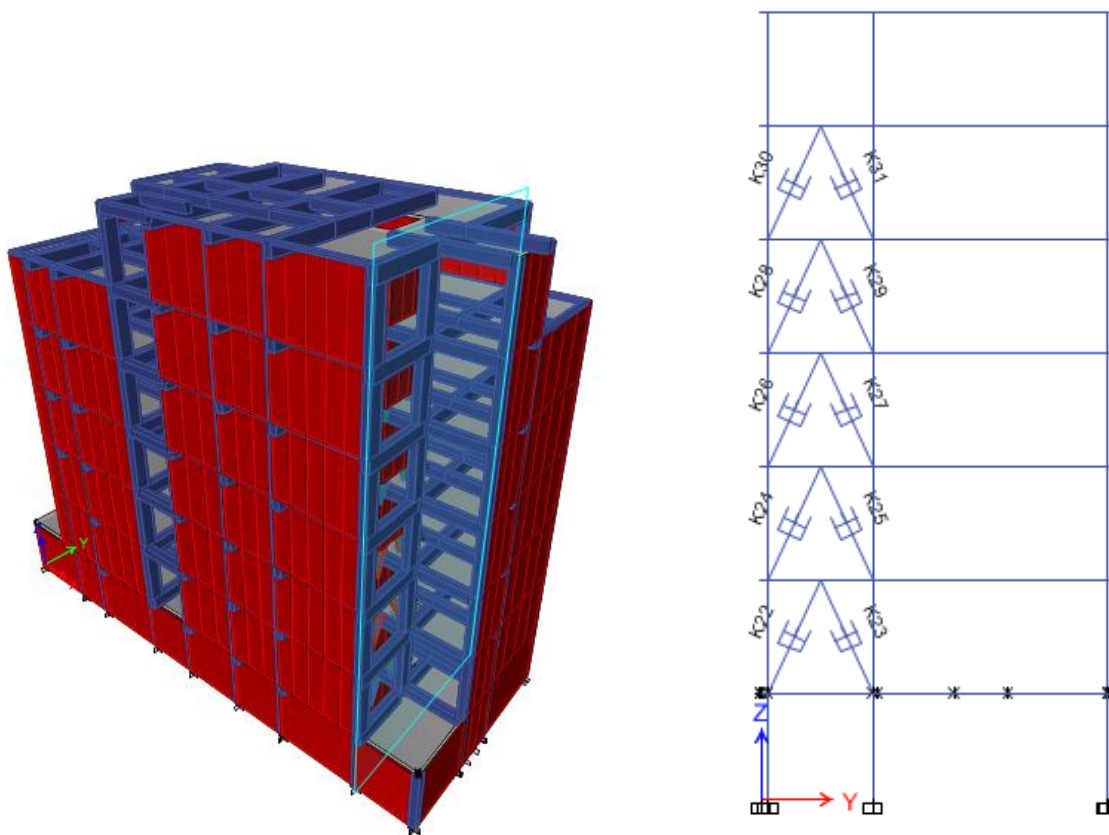


**Figura 5.12** Curva histerética del disipador K2

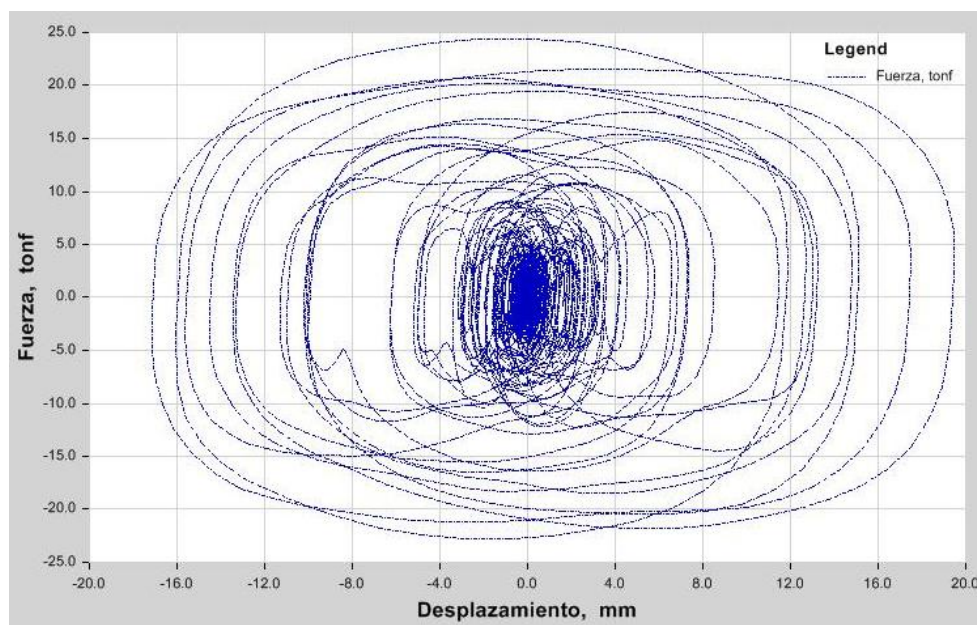


**Figura 5.13** Curva histerética del disipador K4

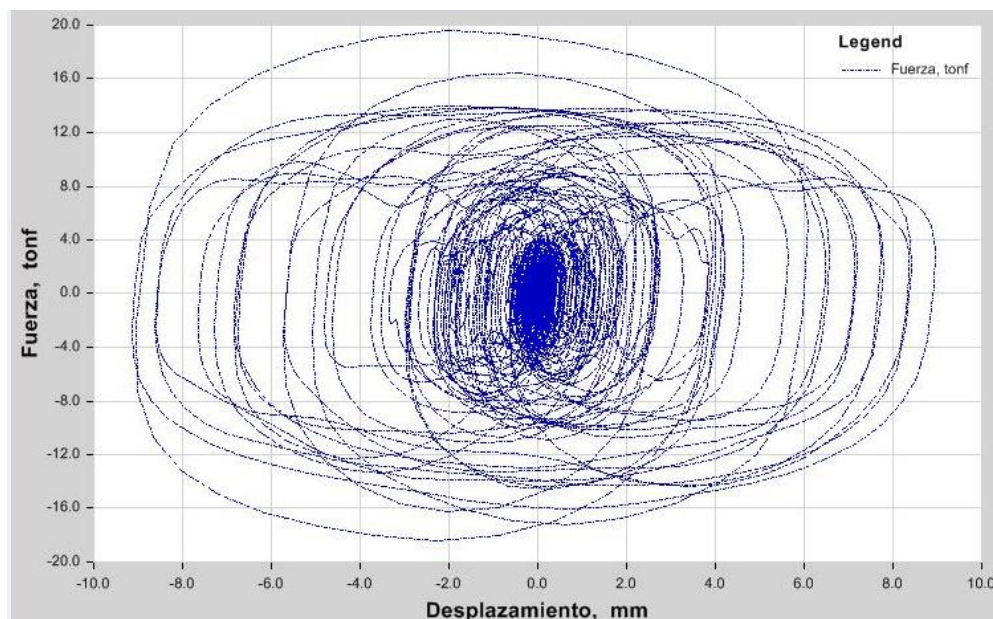




**Figura 5.14** Vistas en 3D y 2D de los disipadores en el eje K.



**Figura 5.15** Curva histerética del disipador K32



**Figura 5.16** Curva histerética del disipador K32

Al evaluar las curvas histeréticas de cada disipador se observó que en todos de estos se presenta el comportamiento esperado, es decir se logra la forma elíptica (En color azul).

#### **5.7.4. Modos y periodos de vibración de la estructura**

A continuación en la Tabla 5.49 se muestran los periodos resultantes de la estructura con los disipadores viscosos incorporados en ella.



Modo	Periodo T (s)	Masa Participativa	
		masa X-X %	masa Y-Y %
1	0.537	0.00	76.31
2	0.292	45.19	0.20
3	0.226	33.50	0.08
4	0.177	0.22	14.39
5	0.143	0.00	0.01
6	0.106	0.16	1.11
7	0.085	0.33	0.73
8	0.083	0.03	0.11
9	0.082	0.04	0.08
10	0.081	0.27	0.61
11	0.078	3.98	2.10
12	0.077	0.11	0.00
13	0.072	2.35	0.00
14	0.071	6.14	1.27
15	0.069	0.04	0.03
16	0.063	0.03	0.01
17	0.058	0.19	0.70
18	0.057	0.01	0.01
Sumatoria		92.59	97.75

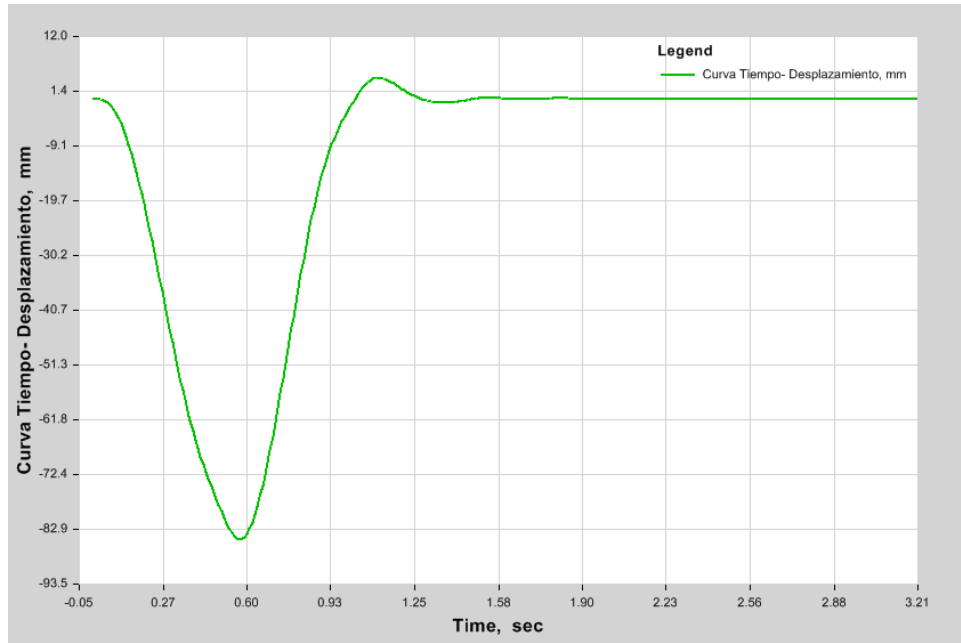
**Figura 5.17** Periodos de vibración de la estructura con disipadores de energía

Se puede apreciar que los periodos resultantes son los mismos a los de la estructura sin los disipadores de energía (ver Tabla 5.), esto se debe a que estos dispositivos no incrementan la rigidez de la estructura, lo que generaría que los periodos no varíen.

#### 5.7.5. Verificación del amortiguamiento Objetivo

Sometemos a la estructura a una prueba de vibración libre con el fin de verificar que el amortiguamiento viscoso resultante sea el amortiguamiento que se estableció como objetivo como en el caso de amortiguadores lineales.

En la figura 5.18 se muestra la curva tiempo vs desplazamiento en el último nivel de la estructura para amortiguadores no lineales con  $\alpha = 0.60$ .



**Figura 5.18** Curva tiempo-desplazamiento para disipadores no lineales con  $\alpha=0.60$

Con la expresión correspondiente al decremento logarítmico, se calculó el amortiguamiento de la estructura, esta ecuación se denomina decremento logarítmico.

$$\ln\left(\frac{x_t}{x_{(t+nT)}}\right) \cong \frac{2n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$\ln\left(\frac{-84.81}{-0.16}\right) \cong \frac{2 * 3 * 3.1416 * \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$\xi = \beta_{eff} = 31.5\%$$

Finalmente, considerando 5% de amortiguamiento inherente ( $\beta_o$ ) se obtuvo:

$$\beta_{viscx-x} = \beta_{eff} - \beta_o = 26.5\%$$

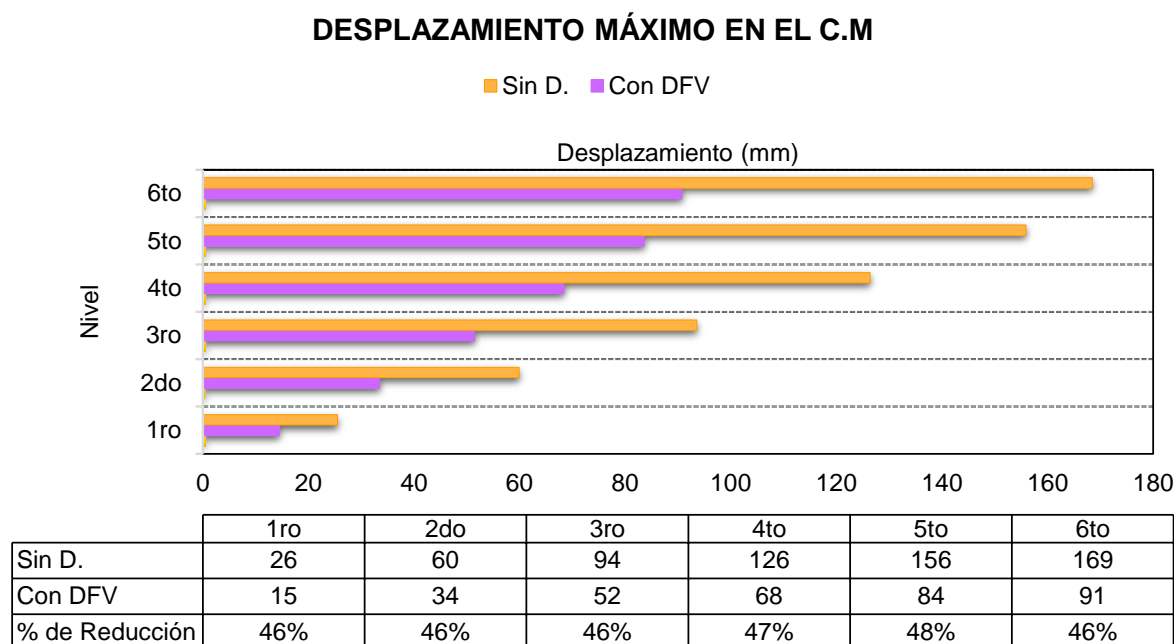
Con ello se comprueba positivamente que la estructura tiene un amortiguamiento inclusive mayor al objetivo de 25%.

## 5.8. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados comparativos en cuanto a desplazamientos, comportamiento histerético, derivas, aceleraciones, etc. del edificio en estudio (con y sin disipadores de energía) teniendo como sismo de diseño el de Moquegua 2001 (caso 2) - por ser el que más se ajustó al comportamiento esperado (espectro de diseño). Demás resultados se detallan en el anexo B.

### 5.8.1. Desplazamientos en los centros de masa

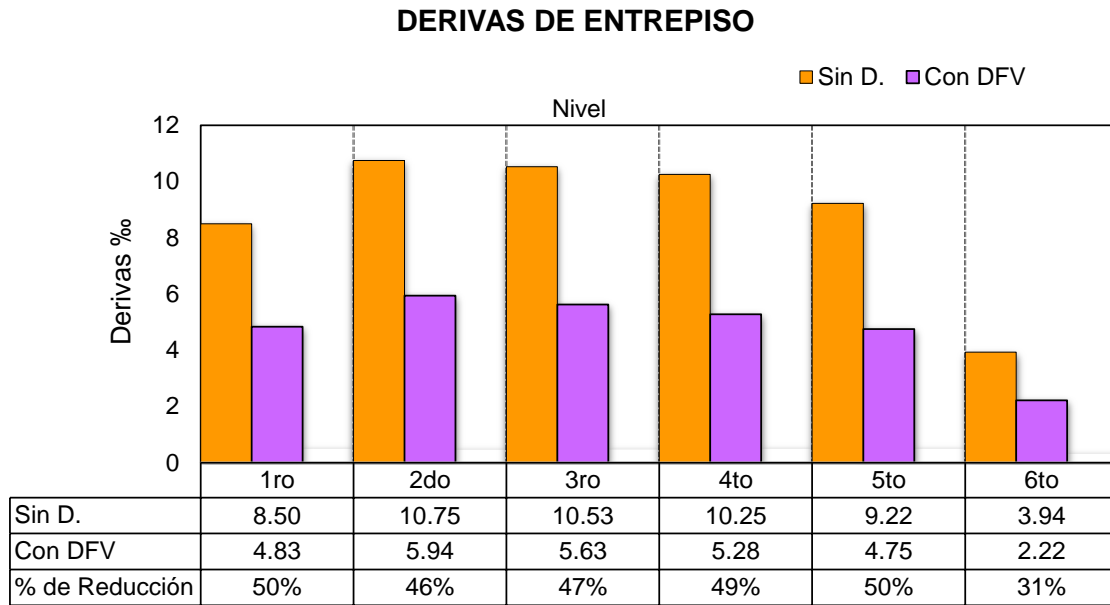
La incorporación de disipadores de energía viscosos a la estructura reduce los desplazamientos de piso en un rango de entre 47 a 49% tal como se muestra en la Figura 5.19.



**Figura 5.19** Desplazamientos máximos absolutos en los C.M en dirección Y.

### 5.8.2. Derivas de entrepiso

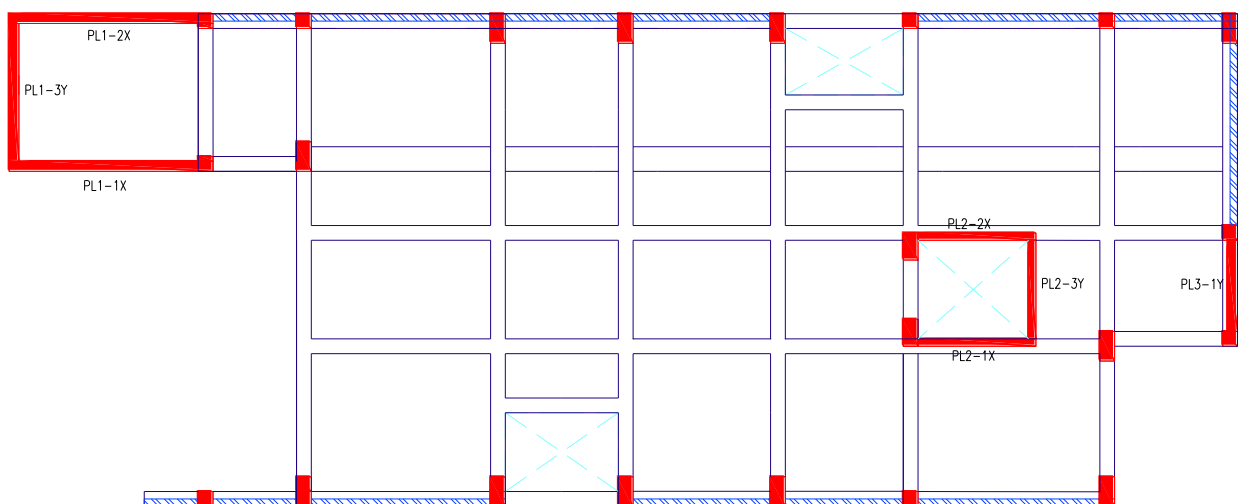
Las derivas de entrepiso se redujeron en un rango de entre 46 a 48% tal como se aprecia en la Figura 5.20; es importante mencionar que la deriva máxima en la estructura con disipadores de energía viscosos se presenta en el segundo piso y es igual a 5.94 ‰; valor cercano al que se fijó para verificar un amortiguamiento efectivo de 30% (5.96 ‰)



**Figura 5.20** Derivas máximas de entrepiso en la dirección Y

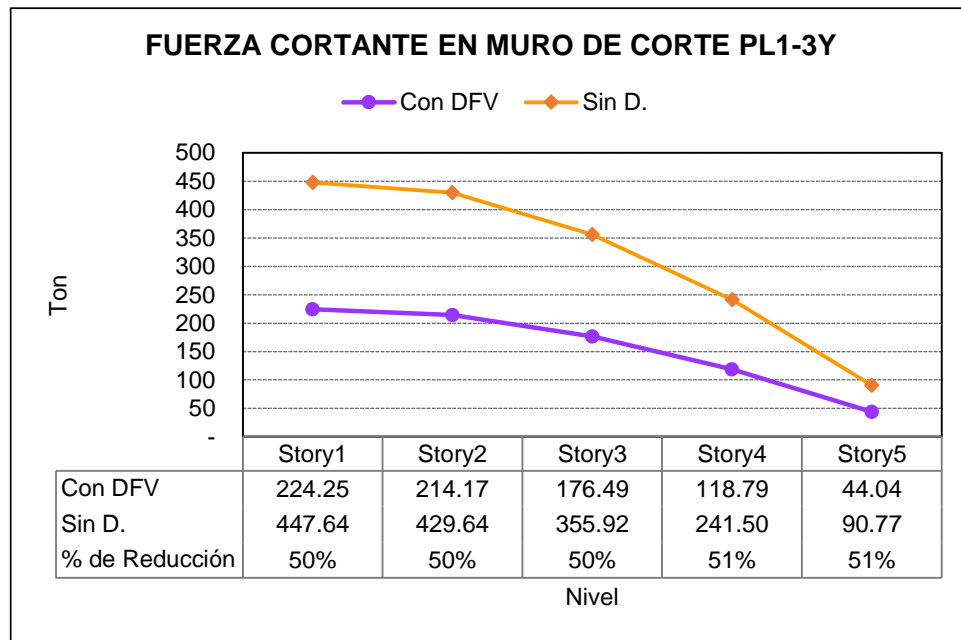
### 5.8.3. Esfuerzos máximos en muros de corte

A continuación se muestran las fuerzas internas de las placas; en las Figura 5.21 se señalan las placas y columnas que se evaluaron, así mismo en las Figuras 5.22 y la Figura 5.23 se presentan la comparación de fuerzas cortantes y momentos en dichos elementos.



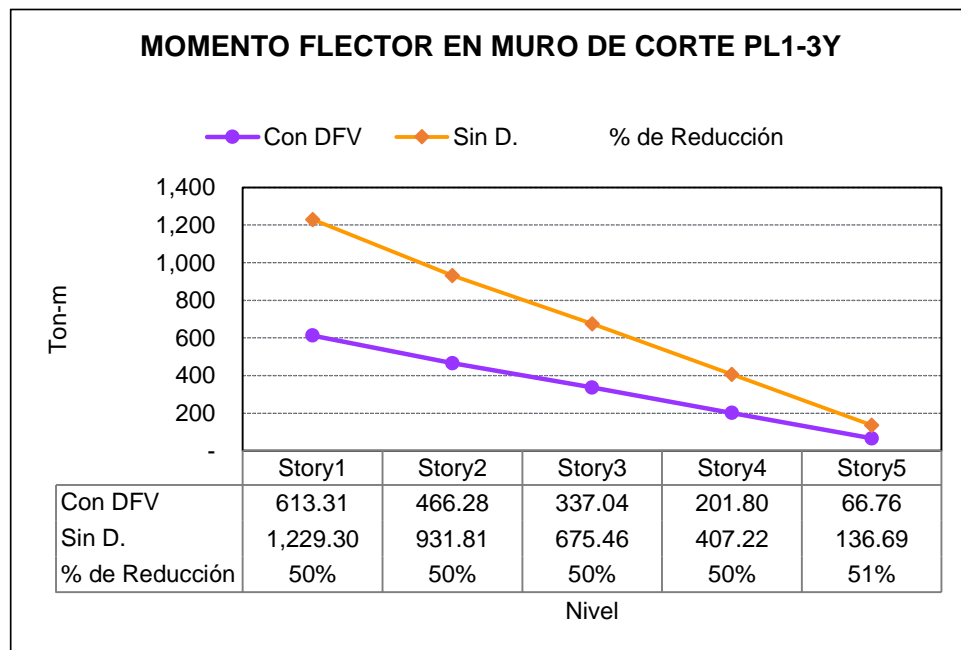
**Figura 5.21** Placas y columnas analizadas en este proyecto.

a) Esfuerzo cortante máximo en muros de corte



**Figura 5.22** Fuerza cortante máxima en cada nivel para la placa PL1-3Y

b) Momentos flectores máximos en los muros de corte.

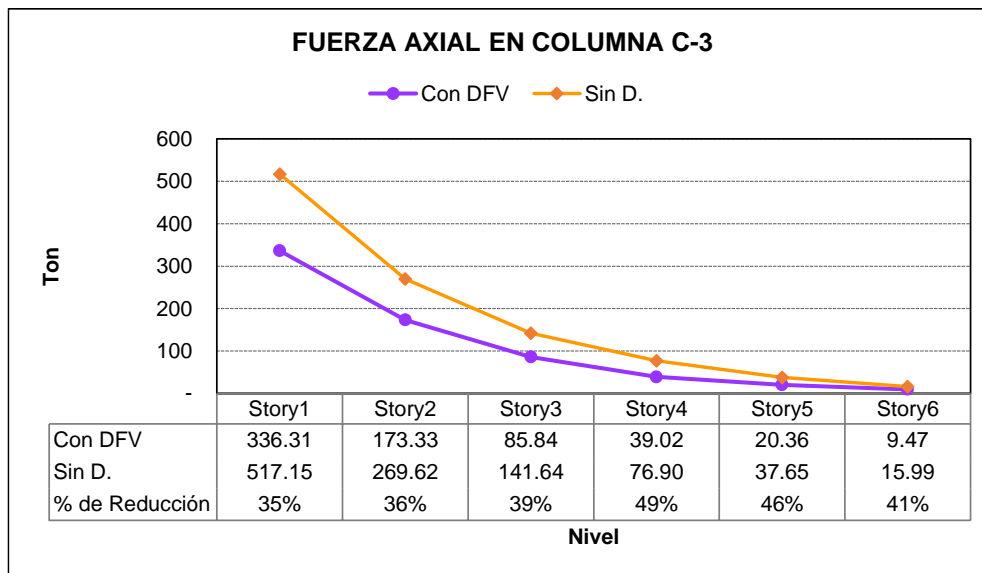


**Figura 5.23** Momento flector máximo en cada nivel para la placa PL1-3Y

#### 5.8.4. Esfuerzos máximos en columnas

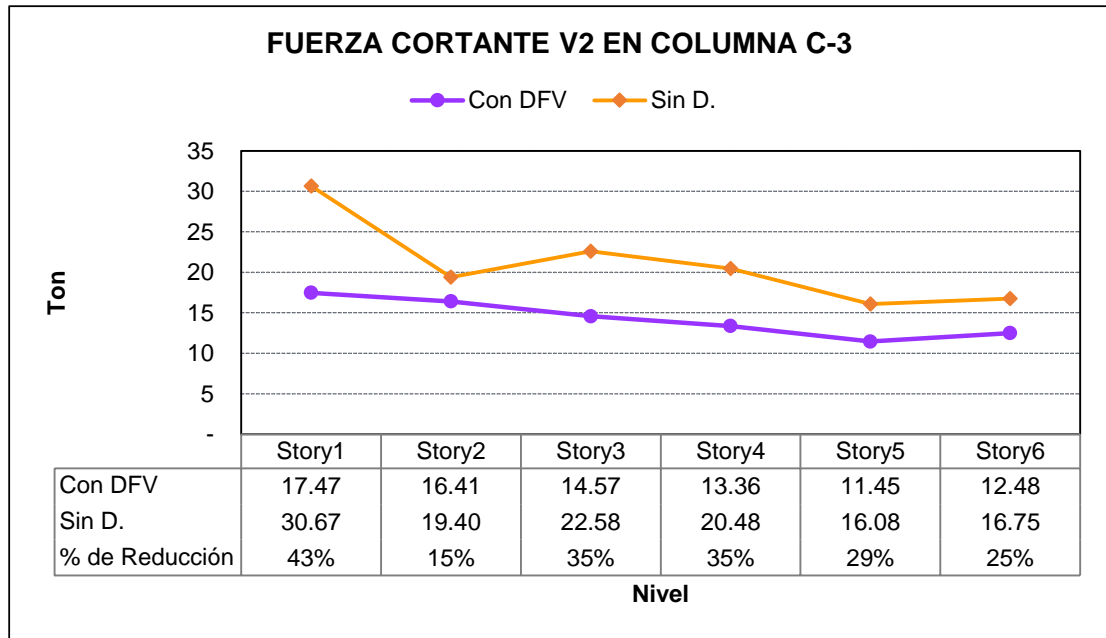
A continuación se muestran las fuerzas internas de las columnas; en las Figura 5.23 se señalan las placas y columnas que se evaluaron, así mismo en las Figuras 5.24 a la Figura 5.26 se presentan la comparación de fuerzas axiales, cortantes y momentos en dichos elementos.

a) Fuerzas axiales en Columnas.



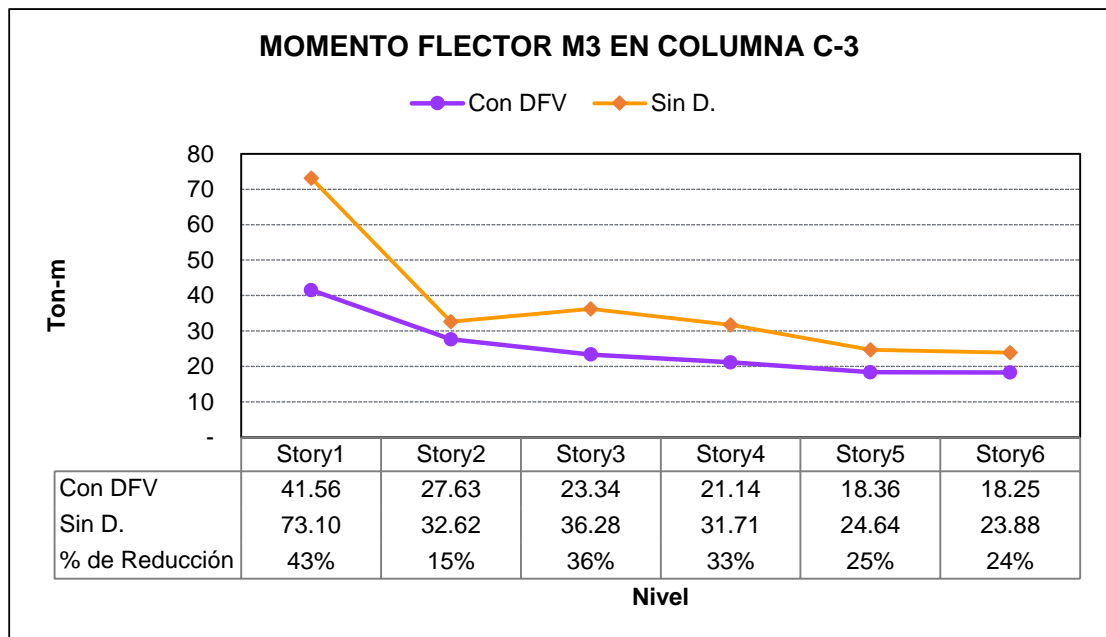
**Figura 5.24** Fuerza axial máxima en columna C-3

b) Fuerza cortante máxima en columnas.



**Figura 5.25** Fuerza cortante máxima en columna C-3.

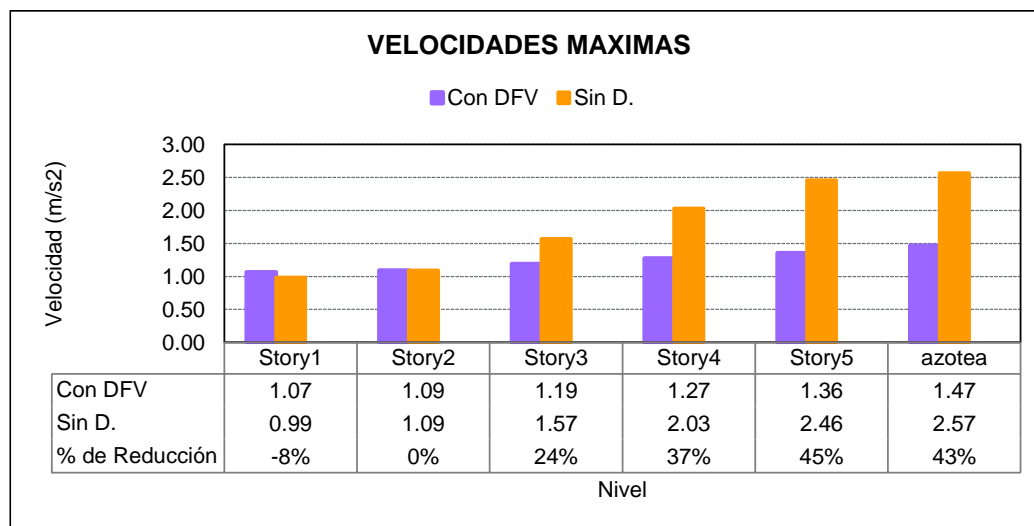
c) Momento flector máximo en columnas.



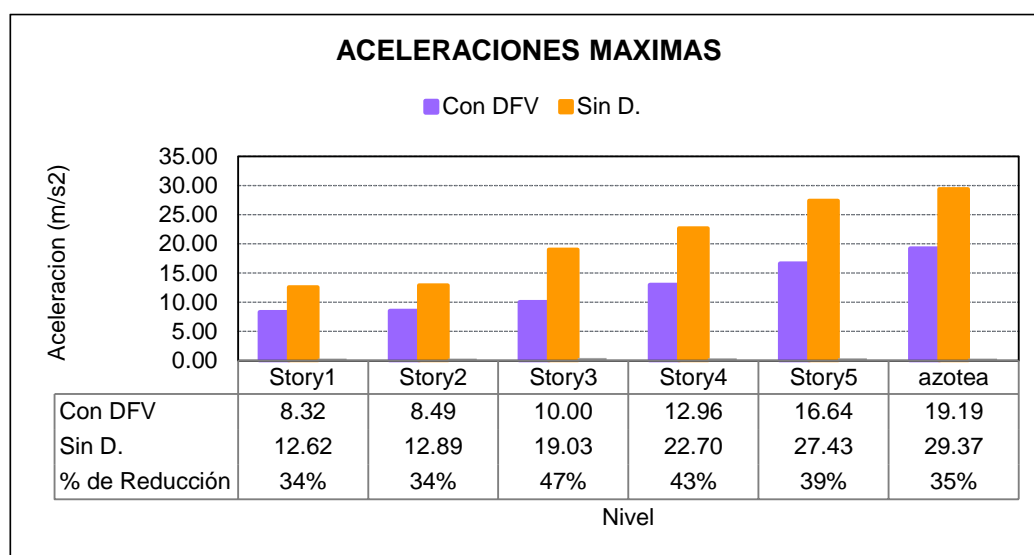
**Figura 5.26** Momento flector máximo en columna C-3.

### 5.8.5. Aceleración y velocidades máximas.

A continuación en las Figuras 5.27 a la Figura 5.28 se muestran los valores máximos de las velocidades y aceleraciones de los centro de masas de cada piso, para el edificio sin y con disipadores respectivamente.



**Figura 5.27** Velocidades máximas del CM.



**Figura 5.28** Aceleraciones máximas del CM.



## 5.9. REQUERIMIENTO DE DISPOSITIVOS

Disipador	Nivel	Fuerza (tn)	Fuerza (Kip)	Disipador (Kip)
K02	1ro	34.28	75.58	110
K03	1ro	33.01	72.77	110
K20	1ro	25.95	57.21	110
K21	1ro	24.75	54.55	55
K04	2do	37.48	82.62	110
K05	2do	36.85	81.24	110
K32	2do	29.36	64.73	110
K33	2do	28.64	63.14	110
K06	3ro	37.75	83.23	110
K07	3ro	37.05	81.67	110
K16	3ro	29.02	63.98	110
K17	3ro	28.42	62.66	110
K08	4to	36.30	80.03	110
K09	4to	35.67	78.64	110
K14	4to	27.19	59.95	110
K15	4to	26.62	58.68	110
K10	5to	32.81	72.33	110
K11	5to	32.21	71.01	110
K12	5to	24.91	54.91	55
K13	5to	24.62	54.27	55

**Figura 5.29** Fuerzas máximas en los disipadores de energía en el eje D.

Disipador	Nivel	Fuerza (tn)	Fuerza (Kip)	Disipador (Kip)
K22	1ro	19.61	43.23	55
K23	1ro	18.33	40.40	55
K24	2do	22.73	50.12	55
K25	2do	21.94	48.36	55
K26	3ro	23.68	52.20	55
K27	3ro	23.10	50.93	55
K28	4to	23.52	51.85	55
K29	4to	23.22	51.18	55
K30	5to	22.87	50.41	55
K31	5to	22.75	50.16	55

**Figura 5.30** Fuerzas máximas en los disipadores de energía en el eje K.

Los disipadores viscosos Taylor tienden por lo general a presentar una baja incidencia económica en el presupuesto total de los proyectos donde son implementados.

CDV Representaciones, empresa importadora y comercializadora de productos especializados para la construcción, es la representante de la marca Taylor en el Perú. Para poder determinar el costo de cada disipador, esta empresa solicita la siguiente información:

- a. Fuerzas de diseño de los disipadores por tipo
- b. Constante de amortiguamiento  $C \text{ (KN (s/mm) } ^{(1/\alpha)}$
- c. Factor exponencial ALPHA
- d. Máximo Stroke, deformación axial
- e. Máxima Velocidad
- f. Indicar la disposición del disipador (diagonal, doble diagonal, Chevron)
- g. Cantidad de dispositivos por tipos

Además recomienda que para el diseño de los dispositivos se hayan tenido en cuenta las recomendaciones del ASCE 7-10 (Capítulo 18), y que los registros tiempo historia empleados estén acorde a la realidad del proyecto (es decir tomados en un suelo S3 – Piura), señala que estos registros deben de haber sido escalados adecuadamente al espectro de diseño (considerando las condiciones de importancia, tipo de suelo, etc.)

Para este trabajo se tomaron en consideración las recomendaciones señaladas; de esta manera para el cálculo de costos se cuenta con los siguientes resultados del diseño.

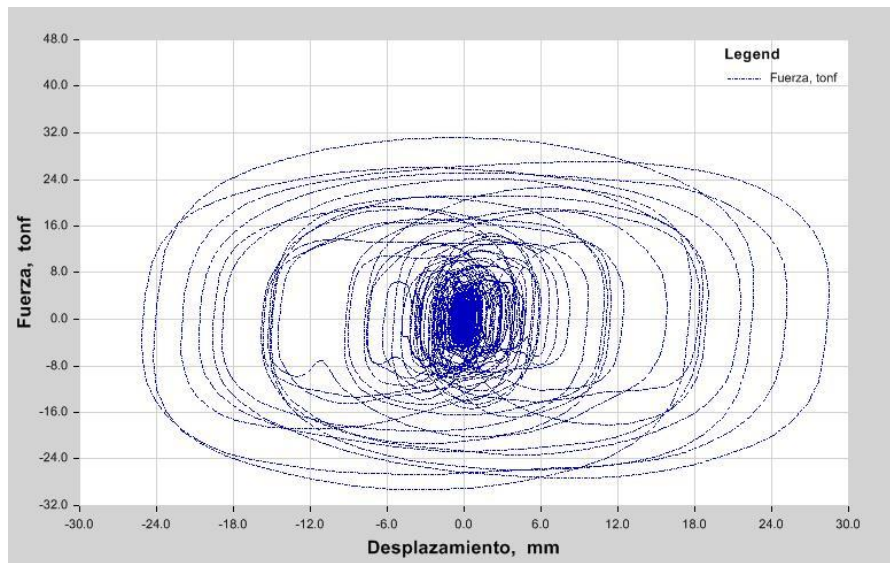
- a. Fuerzas de diseño de los disipadores por tipo
  - Para los disipadores de 110KIP  
El elemento K06 (ver Figura 5.29) presenta la mayor fuerza:  $37.75 \text{ tn} \cong 40 \text{ tn}$
  - Para los disipadores de 55KIP  
El elemento K12 (ver Figura 5.29) presenta la mayor fuerza:  $24.91 \text{ tn} \cong 25 \text{ tn}$
- b. Constante de amortiguamiento  $C \text{ (KN (s/mm) } ^{(1/\alpha)}$   
Para todos los dispositivos se fijó el valor de  $75 \text{ t*s/m}$
- c. Exponente de Velocidad  
El valor de  $\alpha$  se fijó en 0.6

d. Máximo Stroke

El máximo stroke es el desplazamiento máximo que obtenemos en los dispositivos, este dato es empleado para el diseño de la cámara de acumulación.

Este valor se puede obtener evaluando las curvas histeréticas de cada disipador, en este caso, el máximo stroke se encuentra en el dispositivo K04 (ver Figura 5.31)

El máximo stroke es de 0.0284 metros = 2.84 cm



**Figura 5.31** Curva histerética disipador K04 (los desplazamientos se toman en valor absoluto)

Por lo general el fabricante maneja un factor de seguridad estableciendo usualmente el stroke en 5cm.

e. Máxima Velocidad

La máxima velocidad se obtiene a partir de la ecuación general de los disipadores viscosos:

$$F = CV^\alpha$$

- Para los disipadores de 110KIP

$$F = CV^\alpha \rightarrow 40tn = 75tn * \frac{s}{m} * V^{0.6}, \text{ despejando } V = 0.351 \text{ m/seg}$$

- Para los disipadores de 55KIP

$$F = CV^\alpha \rightarrow 25tn = 75tn * \frac{s}{m} * V^{0.6}, \text{ despejando } V = 0.161 \text{ m/seg}$$

- f. Disposición del disipador

Disposición Chevron para todos los niveles

- g. Cantidad de dispositivos

En total 30 dispositivos, 17 de 110KIP y 13 de 55KIP

### 5.10. Incremento en el presupuesto

En el anexo C, muestra el presupuesto global por la implementación de los 30 dispositivos de fluido viscoso. El monto global asciende en \$ 113, 500. Este monto fue proporcionado por CDV-Ingeniería Sísmica.

En la **Tabla 5.1** muestran las áreas techadas del edificio, el área total techada es de 1,254.5 m<sup>2</sup>. El incremento del presupuesto por metro cuadrado será igual a \$ 90.47 / m<sup>2</sup> + IGV.

El presupuesto del proyecto está dividido como se muestra en la tabla 5.23.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PARCIAL
001	TRABAJOS PRE. Y OBRAS PROV.	glb	S/. 210,867.58
002	ESTRUCTURAS	glb	S/. 3,055,309.01
003	ARQUITECTURA	glb	S/. 2,501,987.25
004	INSTALACIONES ELECTRICAS	glb	S/. 607,978.23
005	INSTALACIONES SANITARIAS	glb	S/. 229,383.80
006	AGUA CONTRA INCENDIO	glb	S/. 413,409.37
007	INSTALACIONES MECANICAS	glb	S/. 764,012.97

**SUB-TOTAL S/. 7,782,948.21**

**Tabla 5.39** Presupuesto del proyecto original

Comparando el costo de inversión de los dispositivos con el presupuesto del proyecto original, resulta que se requerirá una inversión adicional aproximada de un **4.81%**.

### **5.11. Justificación de la inversión**

-Desde el punto de vista económico

Los proyectos de este tipo (esencial) suelen ser bastante costosos, tanto por la estructura misma (que debe ser muy resistente) como por los equipamientos e instalaciones especiales que se requieren. Es así, que un incremento de 90.47 \$/m<sup>2</sup> no es muy significativo en el presupuesto total.

El empleo de los disipadores viscosos demostró una reducción significativa en los desplazamientos, derivas, aceleraciones y velocidades de la estructura, lo cual no solo resulta favorable para los elementos estructurales sino también para los no estructurales. Esto es importante en especial para este tipo de edificaciones donde el costo de los elementos no estructurales es mucho mayor que el costo de la edificación misma; tanto es así, que el costo de éstos (elementos no estructurales) puede representar el 85 a 90% del costo total de la edificación; debido principalmente al costo elevado de los equipos médicos y las instalaciones especiales.

-Desde el punto de vista de la seguridad

Luego de un sismo, este tipo de estructuras deben seguir operando, prestando atención médica a los posibles pacientes afectados por el desastre sísmico, esta es la razón por la que este tipo de establecimientos debe mantenerse lo más intacta posible y no presentar daños estructurales ni fallas en las instalaciones y/o equipos.

Además es importante considerar que en el momento del sismo la estructura ya está siendo ocupada por pacientes, que se encuentran en muchos casos incapacitados para la evacuación de la misma, por lo que se deben realizar todos los esfuerzos necesarios en el diseño estructural para lograr el mejor desempeño de esta ante un evento de este tipo.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES**

El primer modo de vibración  $T=0.518\text{seg}$  de la edificación se mantiene igual al implementarla con los disipadores de energía de fluido viscoso con lo que se verifica que el uso de estos dispositivos no altera el periodo fundamental de la estructura.

La implementación de estos disipadores a la estructura, ha producido una disminución de los desplazamientos máximos presentados en el sexto nivel en un 44%. Así como la reducción de las derivas de entrepiso desde un 43% hasta un 45%.

Se pudo observar una reducción significativa en las fuerzas cortantes de los muros de corte en el eje Y (donde están presentes los dispositivos) desde un 47 % hasta un 50%, así mismo en las columnas esta reducción es de hasta 43%.

También se pudo observar una reducción de los momentos de hasta 50% para placas y 43% para columnas.

La disipación de energía con los disipadores de fluido viscosos es del 67 % empleándose en el diseño un total 30 disipadores y considerando como sismo de diseño el de Moquegua 2001, caso 2, demostrándose así que con el uso de estos dispositivos se incrementa la capacidad de disipación de energía ante la acción de un sismo.

Según la información existente y las características del edificio estudiado, la deriva asociada a daño leve y moderado es del orden de 0.2% y 0.42% según la SEAOC. Los resultados del estudio muestran que para mantener la deriva del edificio en un sismo raro, por debajo del umbral de daño leve (0.2%), sería necesario incluir en el sistema un amortiguamiento del orden del 136%. Este nivel de amortiguamiento es imposible de conseguir en términos prácticos y normativos. Como deriva objetivo se planteó utilizar 0.7% para estructuras de concreto armado según la Norma E.0.30 de diseño Sismorresistente. Esto se logró incorporando al edificio un amortiguamiento adicional del 25% en la dirección Y respectivamente, para lo cual se logró reducir la deriva de 1.1% a 0.582%.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Álvarez, M. (2010). Aislamiento sísmico y disipación de energía en Chile. III Congreso A.I.C.E. 2010.
- Ambrosini D, Cuitiño G, Rebeco J, 2004, “Eficiencia de Amortiguadores de Masa Sintonizada en Estructuras Sismorresistentes”, Fac. de Ingeniería, Universidad del Cuyo.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2005). ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. (2010 edition). Reston, VA.
- Anampa Pancca, J.J. (2016). Reducción de daños estructurales frente a un sismo severo con dispositivos pasivos de disipación de energía de fluido viscoso para el edificio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann .Tacna.
- Arraigada J, 2005, “Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)”, Universidad Austral de Chile.
- Arroyo J, 2004, “Metodología para Calcular la Respuesta de Estructuras con Amortiguamiento Viscoso”, Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.
- Boza Farfán, Z.E; Galán Tirapo, D.J. (2013). Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo Chevron. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Burgos Namuche, Maribel. Disipación de Energía Sísmica para el diseño y reforzamiento de las edificaciones” – Charla CIP, Capítulo de Ingeniería Civil.
- Cahís i Carola. (2013). Desarrollo de una nuevo disipador de energía para diseño sismorresistente. Análisis numérico y validación experimental de su comportamiento. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. España.
- Chacón Alvarez, R; Ramírez Caparó, J.E. (2014). Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía, Documento técnico n°29. Cámara Chilena de construcción.

- Corpus Villalba, J.J; Morales Quispe, E.A. (2015). Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando Etabs 2013. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo.
- Cundumi O, 2005, A Variable Damping Semiactive Device for Control of the Seismic Response of Building, Universidad de Puerto Rico, (Disponible [www.uprm.edu](http://www.uprm.edu))
- Díaz la Rosa Sánchez, M.A. (2014). Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos. Universidad privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería. Trujillo.
- Dowrick, D.J. (1990). Diseño de estructuras resistentes a sismos. México: Editorial Limusa.
- Jenn-Shin, H. (2002) Seismic Design of Structures with Viscous Dampers. Taiwan.
- Farzad Naeim, S.E; J. M. Kelly. (1999). Design of seismic isolated structures, from theory to practice. Canadá: Jhon Wiley & Song, inc.
- Fema 273, 274, 1997, "Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building", Chapter 9, Seismic Isolation and Energy Dissipation, NEHRP.
- Fema Mitigation Division. Multi-hazard Loss Estimation Metodology Hazus. MH 2.0, Earthquake Model.
- Guevara Huatuco, D.N; Torres Arias, P.O. (2012). Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Hart G, Wong K, 2000, "Structural Dynamics for Structural Engineers", Estados Unidos, Wiley, Capítulo 9, págs. 483.
- Kelly T., 2001, "In Structure Camping and Energy Dissipation", Holmes Coultig Group Ltd., (Disponible en [www.holmesgroup.com](http://www.holmesgroup.com)).
- Kit Miyamoto, Hideki. Probabilistic Seismic Risk Identification of Steel Building with Viscous Dampers. Tokyo Institute of Technology, Mayo 2010.
- Nakashima, M. (1995a). "Strain-hardening behavior of shear panels made of lowyield steel. I: Test", Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(12), 1742-1749.
- M.D. Symans Et al. (2008). Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments. Estados Unidos.

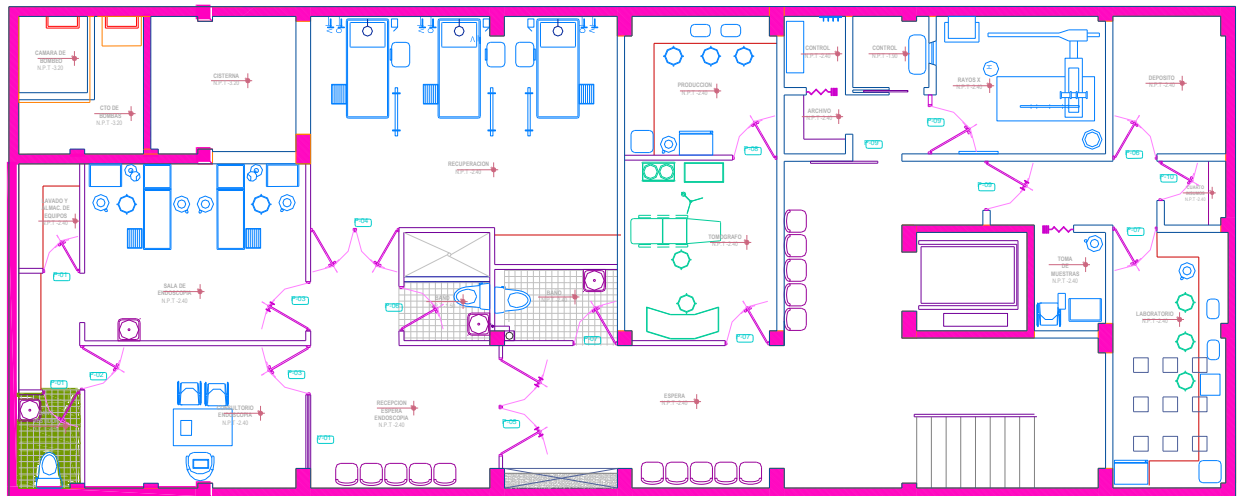


- Morales Díaz, L.J; Contreras Bálaro, J.J. (2012). Protección de una edificación existente con disipadores de energía. Pontificia Universidad Católica del Perú.Lima.
- Morales, R; Oviedo R. Análisis Inelástico y control de la respuesta sísmica de Edificios utilizando disipadores de Energía.
- Oviedo, R. (2008). Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras. (Tesis de Maestría). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Pardo Verdugo, J.P. (2007). Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Paz, M. (1992). Dinámica Estructural, Teoría y Cálculo. México: Editorial Reverté, S.A.
- Pall, A.S. y Marsh, C. (1982). "Response of friction damped braced frames", Journal of Structural Division, ASCE, 108(6), 1313-1323.
- Rao, R. y White, R. (1996). "Design of a friction damper system for retrofit of gravity load design RC frames", NCEER Bulletin, July, 10-12.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2014) Norma técnica de edificación E.030. Diseño sismorresistente.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC) 1995 Performance-based Seismic Engineering of Buildings. Vision 2000 Report. Sacramento, California.
- Taboada García, J.A; De Izcue Uceda, A.M. (2009). Análisis y diseño de edificios asistido por computadoras. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Taylor Devices Inc. Earthquake Protective Systems for Buildings, Bridges, and other structures. North Tonawanda, NY. Junio 2007.
- Taylor D., 2004, Fluid Viscous Damping as an Alternative to Base Isolation. (Disponible en [www.taylordevices.com/fvd\\_alt1.htm](http://www.taylordevices.com/fvd_alt1.htm)).
- Trevor E. Kelly, S.E. (2001). Base Isolation of Structures, Design Guidelines. Wellington, New Zealand: Holmes Consulting Group Ltd.
- Villarreal G; Oviedo R. (2009) Edificaciones con Disipadores de Energía. (Primera edición). Lima, Perú.

## ANEXO A

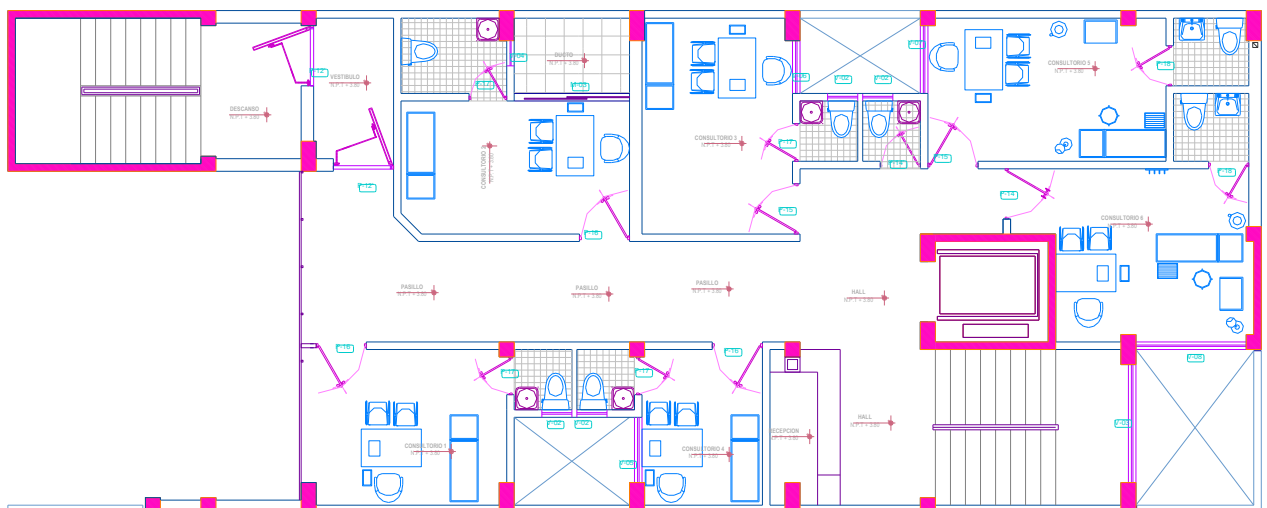
### PLANOS DEL PROYECTO- CLINICA SANTA ISABEL

**SOTANO**  
CENTRO-MEDICO  
escala : 1/50



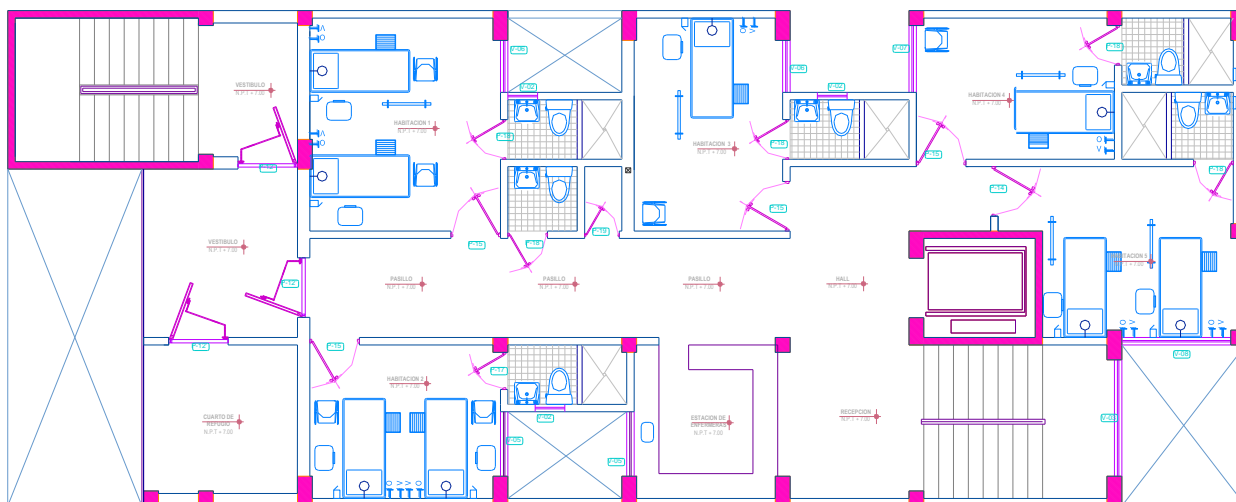
**Figura B.1** Vista en planta del sótano

**SEGUNDO NIVEL**  
CENTRO-MEDICO  
escala : 1/50



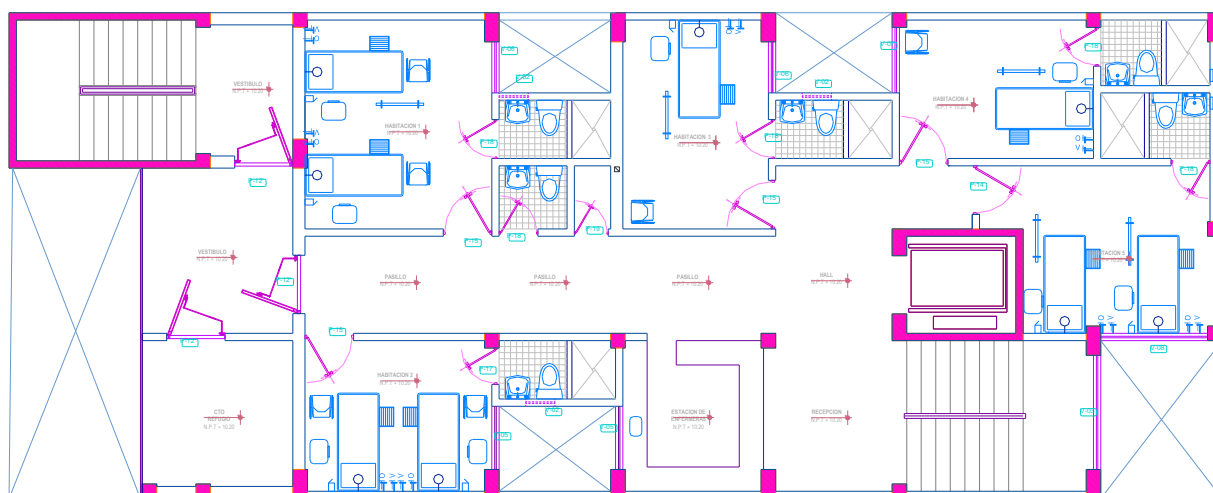
**Figura B.2** Vista en planta del segundo nivel

**TERCER NIVEL**  
CENTRO MEDICO  
escala : 1/50



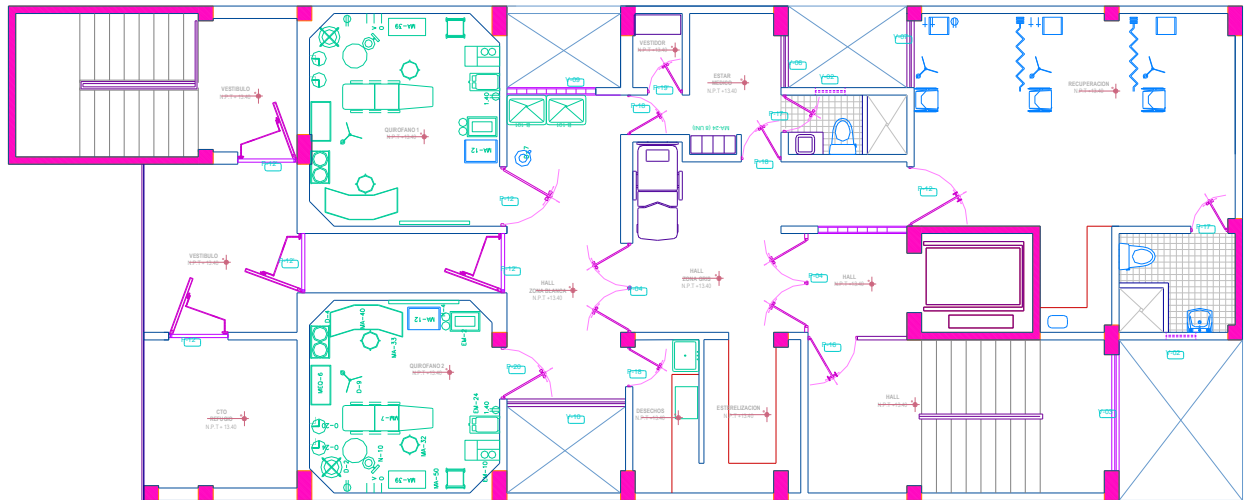
**Figura B.3** Vista en planta del tercer nivel

**CUARTO NIVEL**  
CENTRO MEDICO  
escala : 1/50



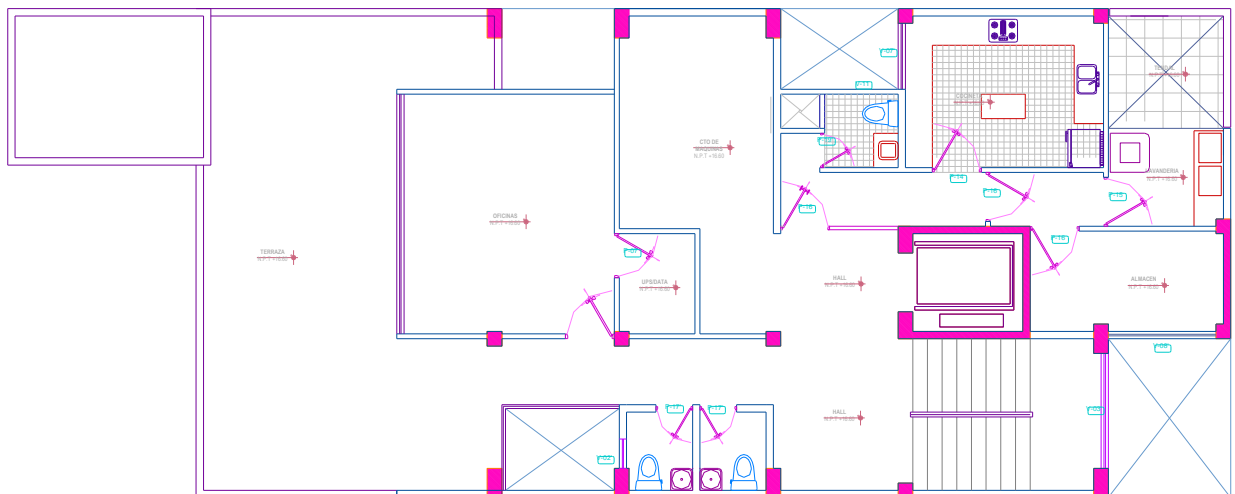
**Figura B.4** Vista en planta del cuarto nivel

**QUINTO NIVEL**  
CENTRO MEDICO  
escala : 1/50



**Figura B.5** Vista en planta del quinto nivel

**SEXTO NIVEL**  
CENTRO MEDICO  
escala : 1/50



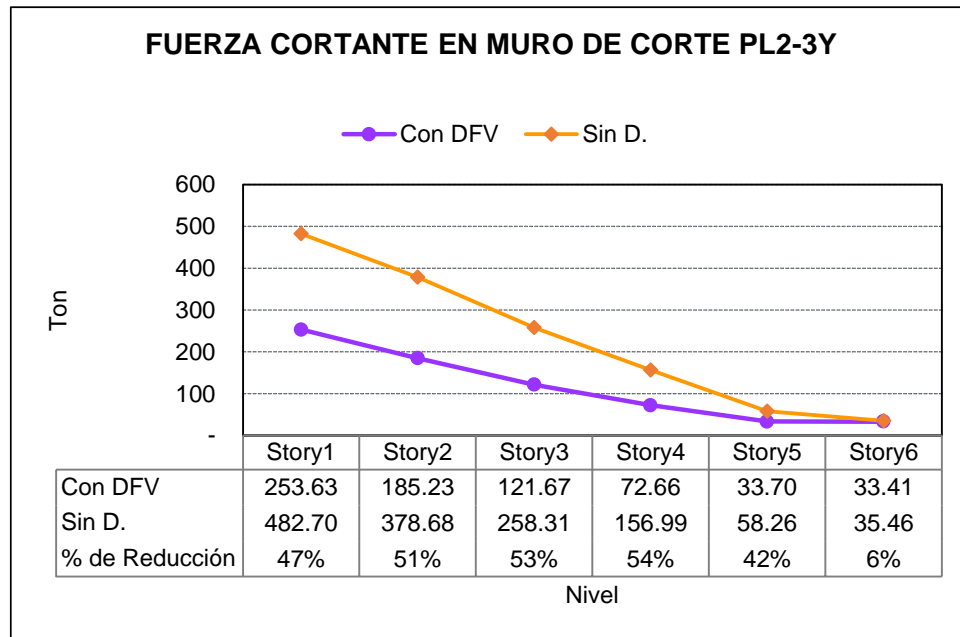
**Figura B.6** Vista en planta de la azotea

## ANEXO B

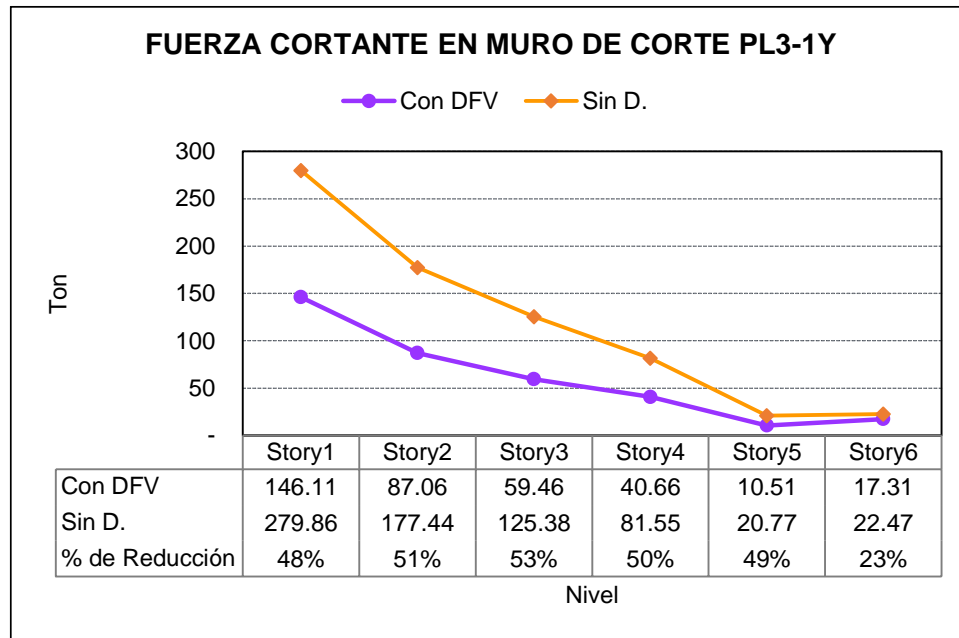
### COMPARACION DE ESFUERZOS Y RESPUESTAS DINÁMICAS

#### C.1. ESFUERZOS MÁXIMOS EN MUROS DE CORTE

##### C.1.1. Esfuerzo cortante máximo en muros de corte

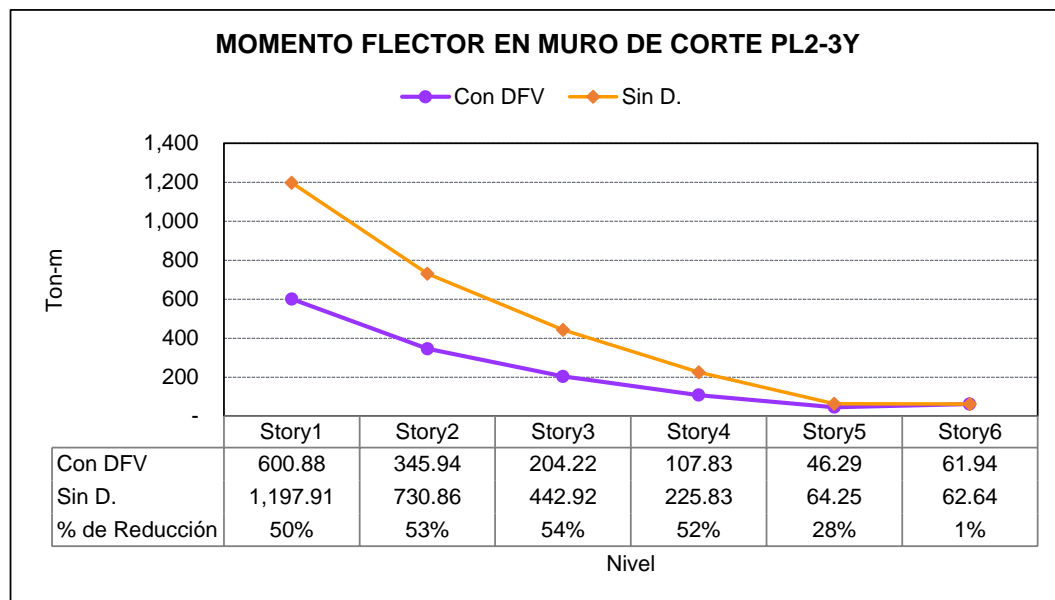


**Figura C.1** Fuerza cortante máxima en cada nivel para la placa PL2-3Y

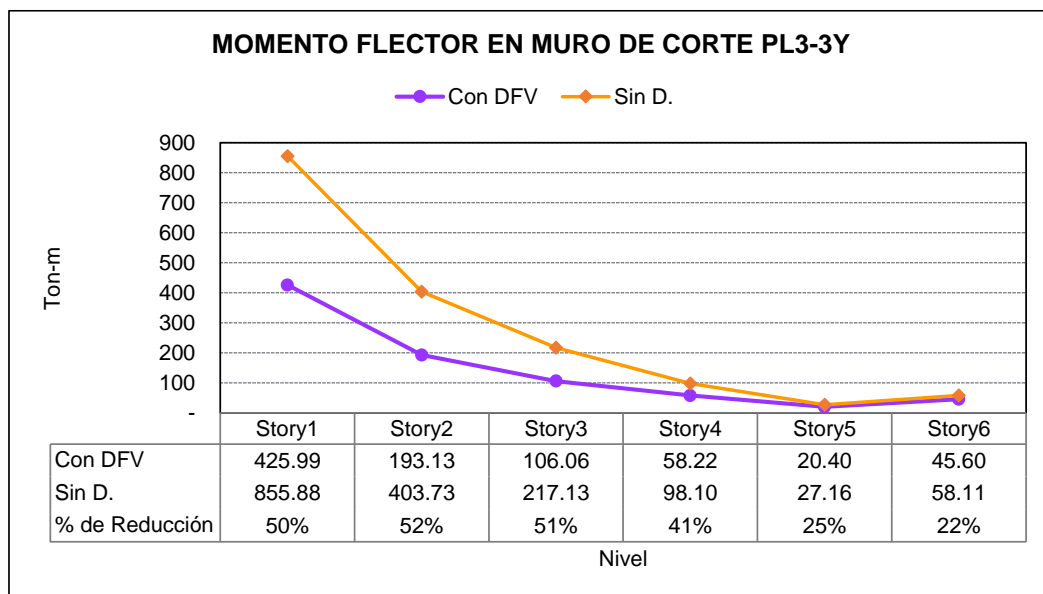


**Figura C.2** Fuerza cortante máxima en cada nivel para la placa PL3-1Y

**C.1.2.** Momentos flectores máximos en los muros de corte.



**Figura C.3** Momento flector máximo en cada nivel para la placa PL2-3Y

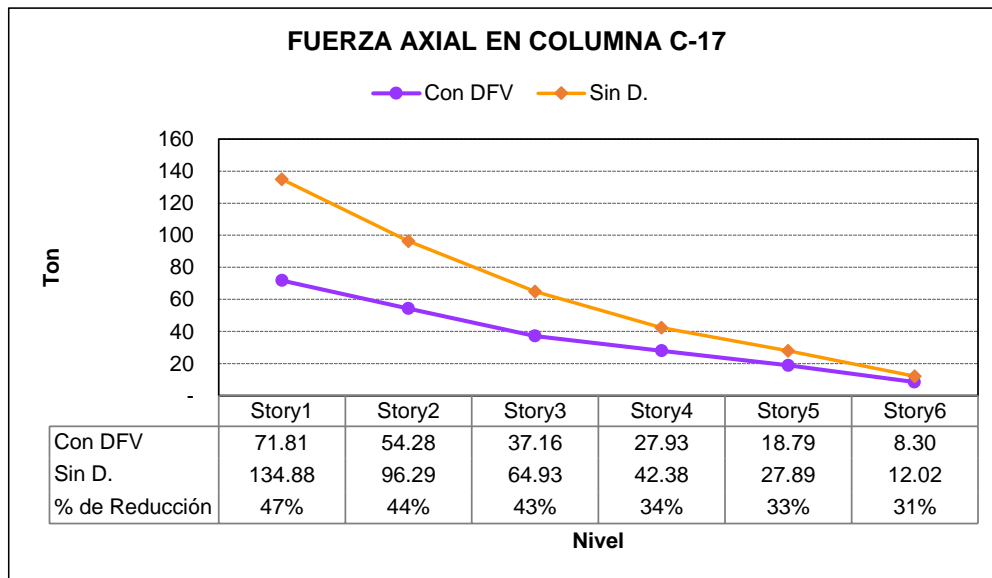


**Figura C.4** Momento flector máximo en cada nivel para la placa PL3-3Y

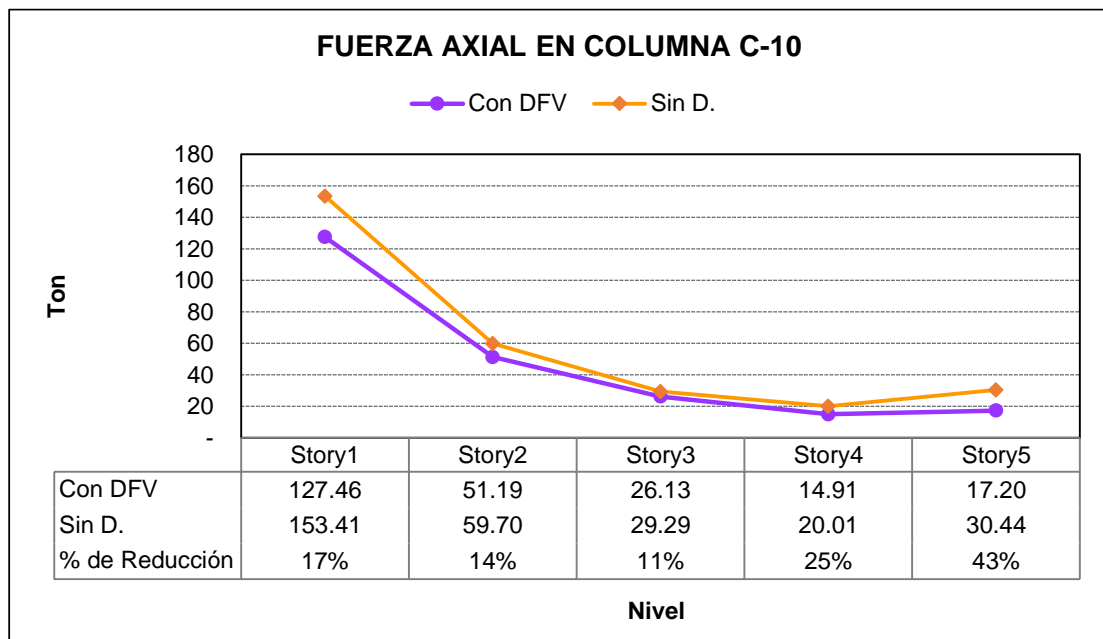
## C.2.ESFUERZOS MÁXIMOS EN COLUMNAS

A continuación se muestran las fuerzas internas de las columnas; en las Figura 5.23 se señalan las placas y columnas que se evaluaron, así mismo en las Figuras 5.30 a la Figura 5.44 se presentan la comparación de fuerzas axiales, cortantes y momentos en dichos elementos.

### C.2.1. Fuerzas axiales en Columnas.

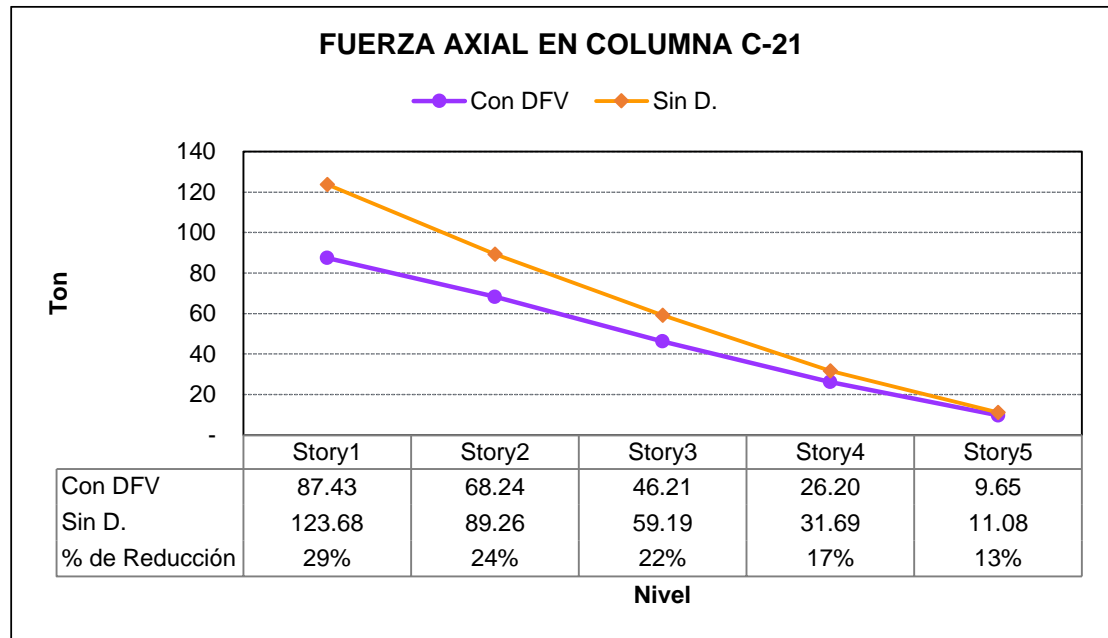


**Figura C.5** Fuerza axial máxima en columna C-17

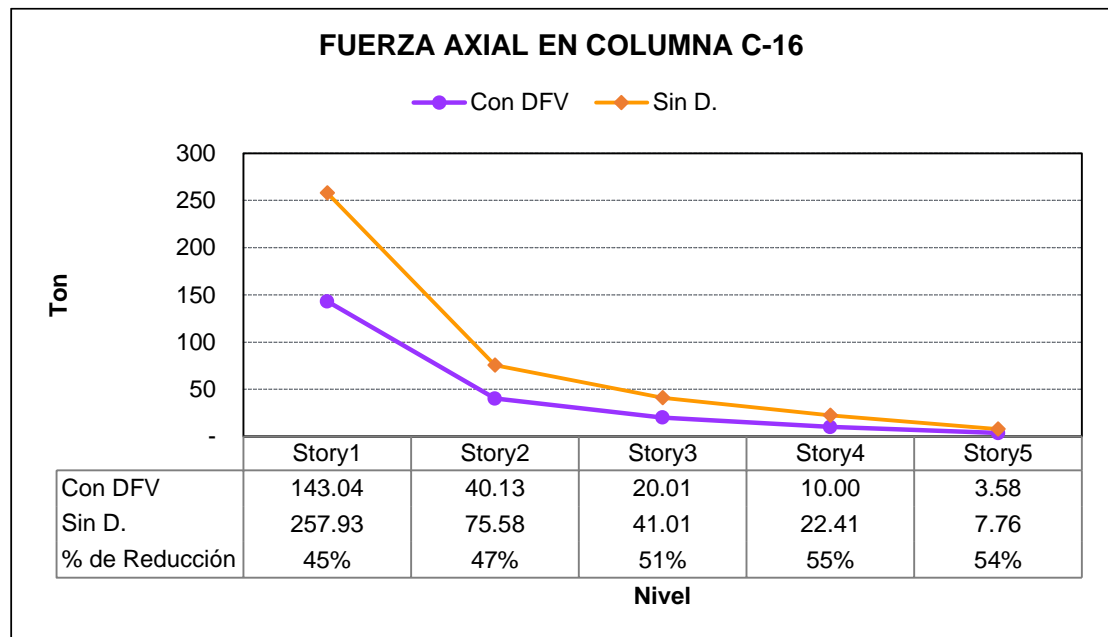


**Figura C.6** Fuerza axial máxima en columna C-10.



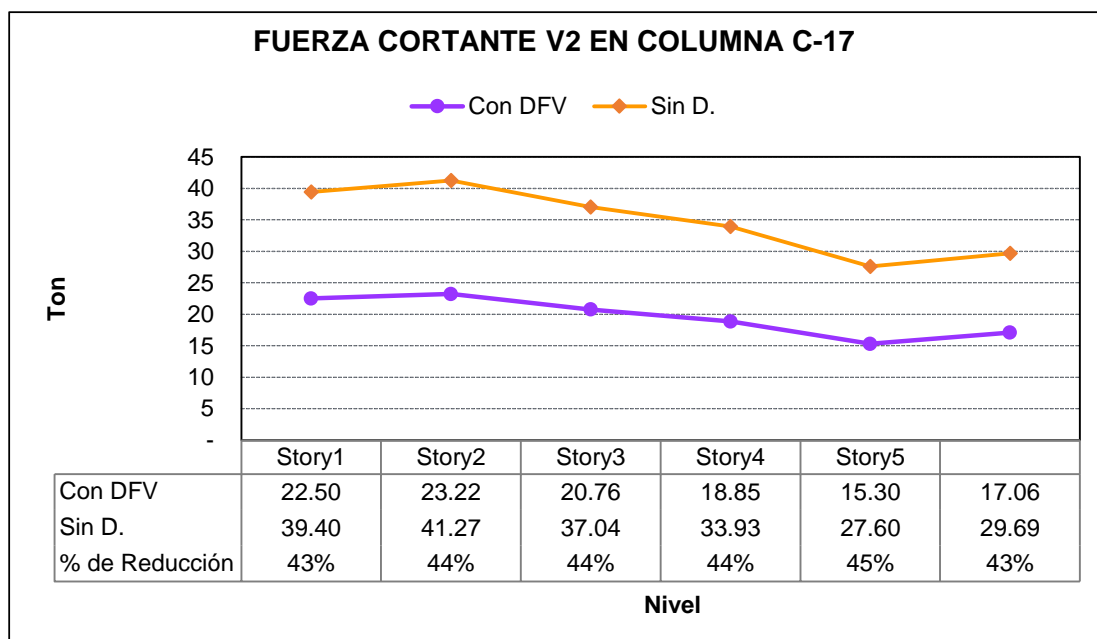


**Figura C.7** Fuerza axial máxima en columna C-21.

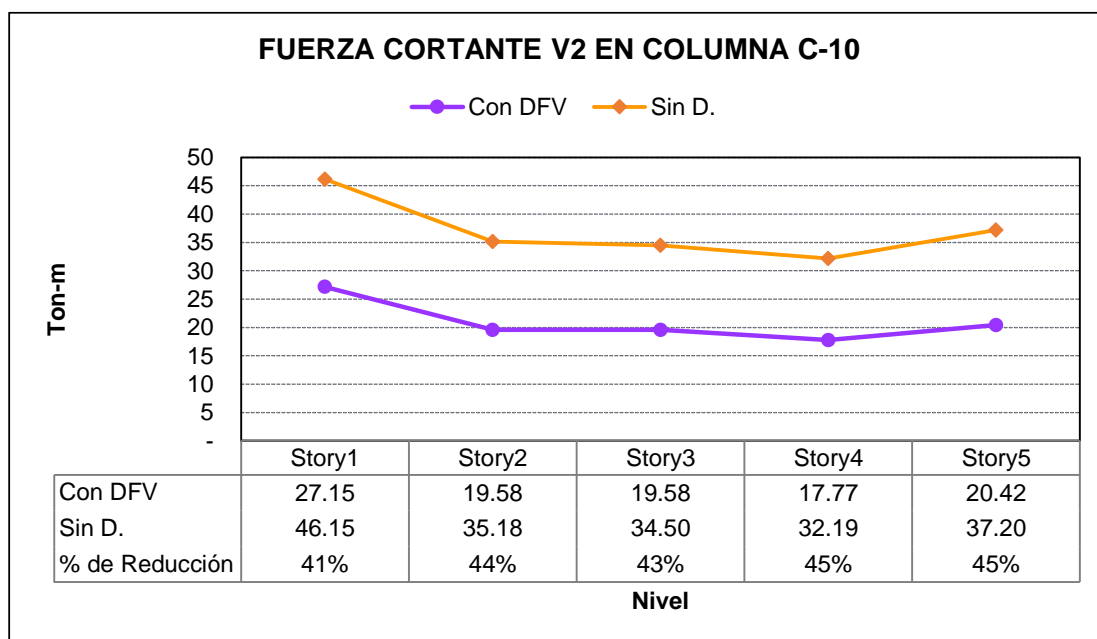


**Figura C.8** Fuerza axial máxima en columna C-16.

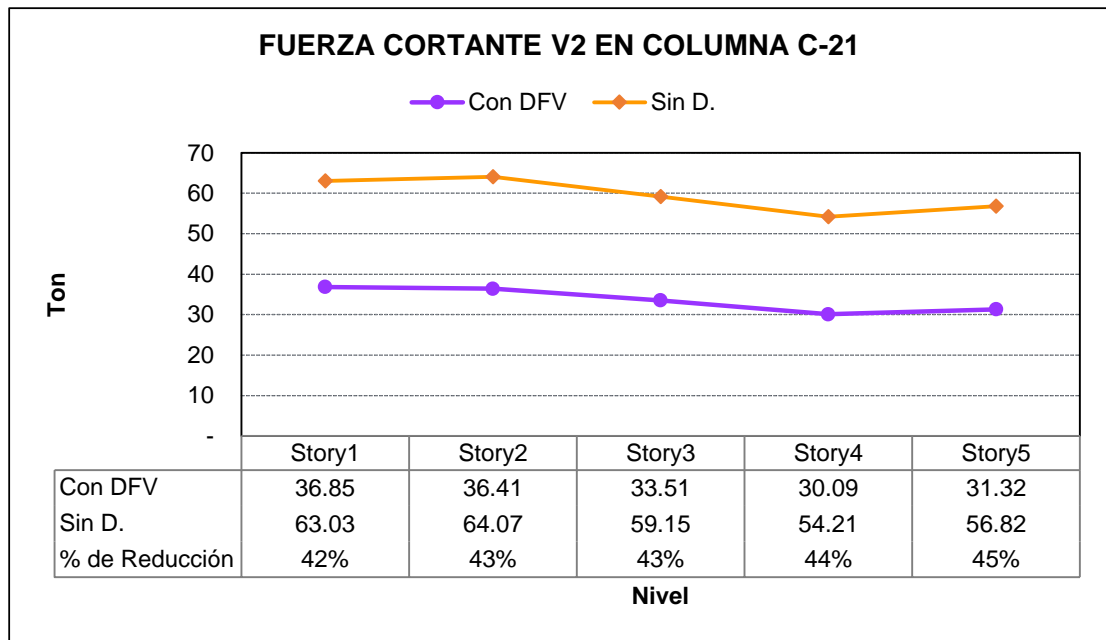
### C.2.2. Fuerza cortante máxima en columnas.



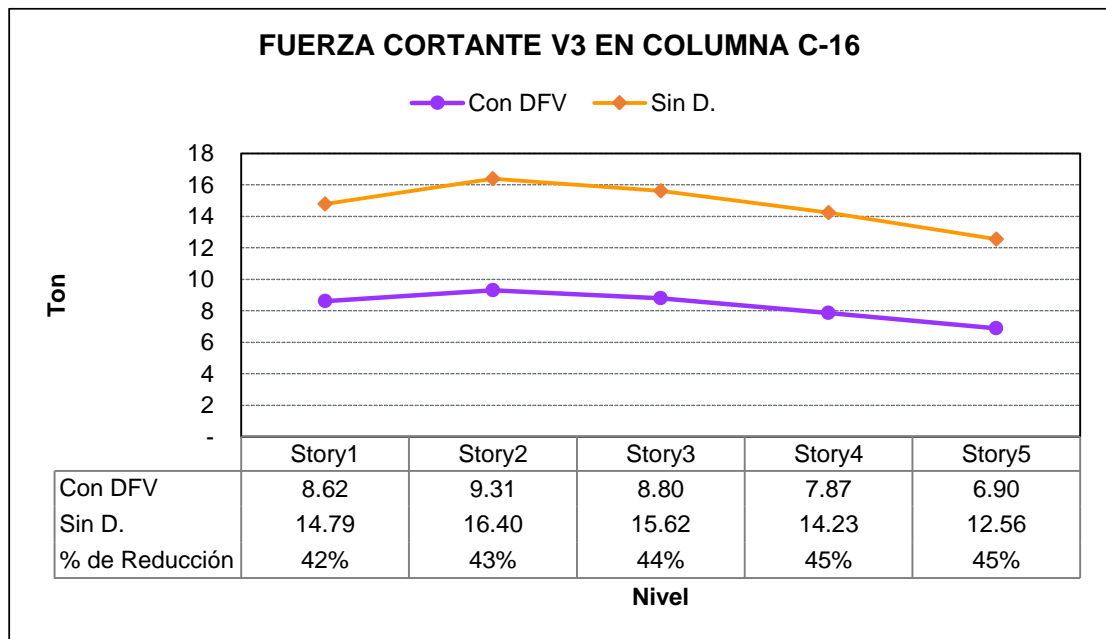
**Figura C.9** Fuerza cortante máxima en columna C-17.



**Figura C.10** Fuerza cortante máxima en columna C-10.

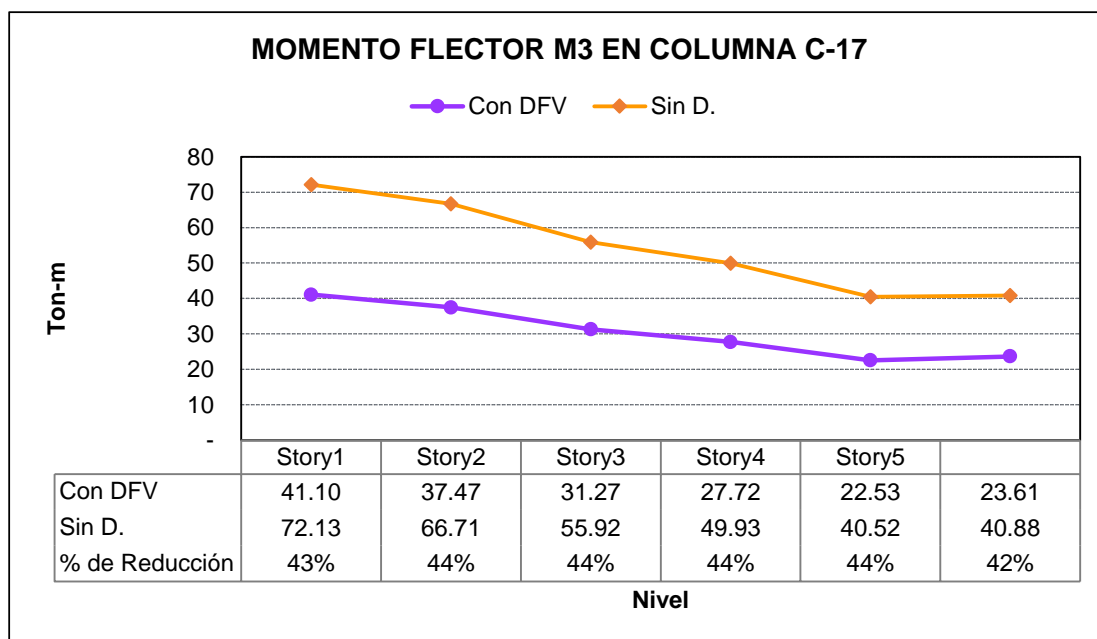


**Figura C.11** Fuerza cortante máxima en columna C-21.

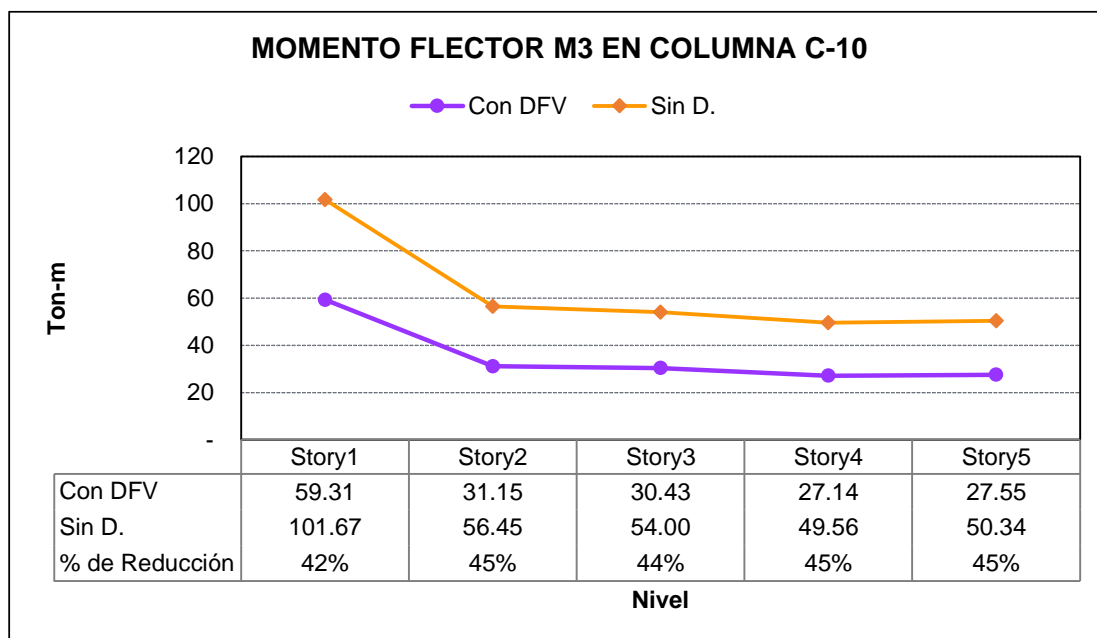


**Figura C.12** Fuerza cortante máxima en columna C-16.

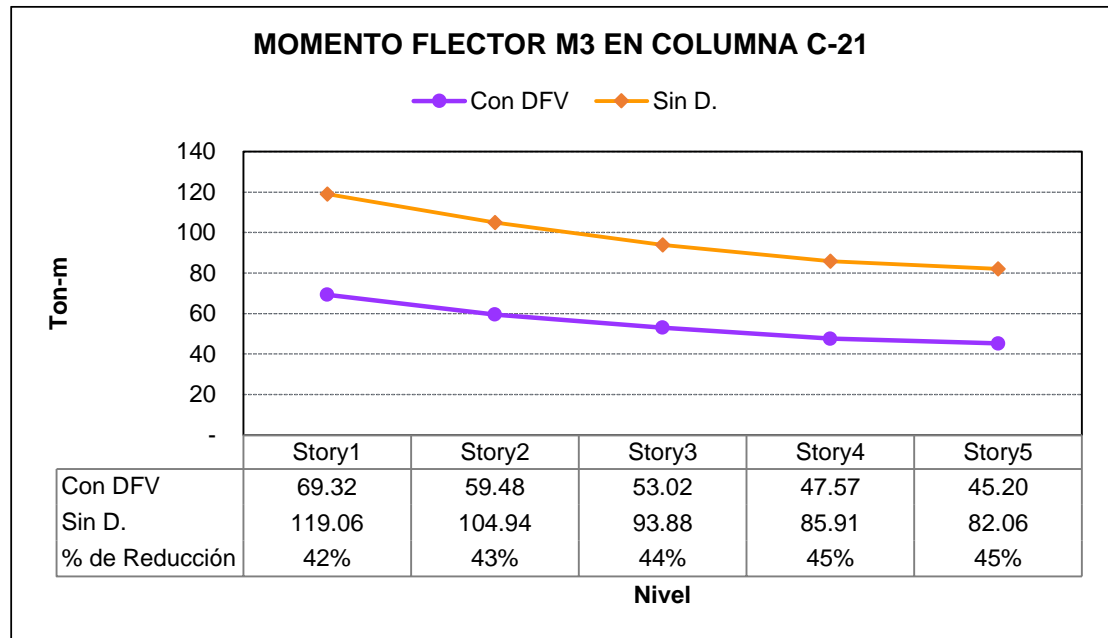
### C.2.3. Momento flector máximo en columnas.



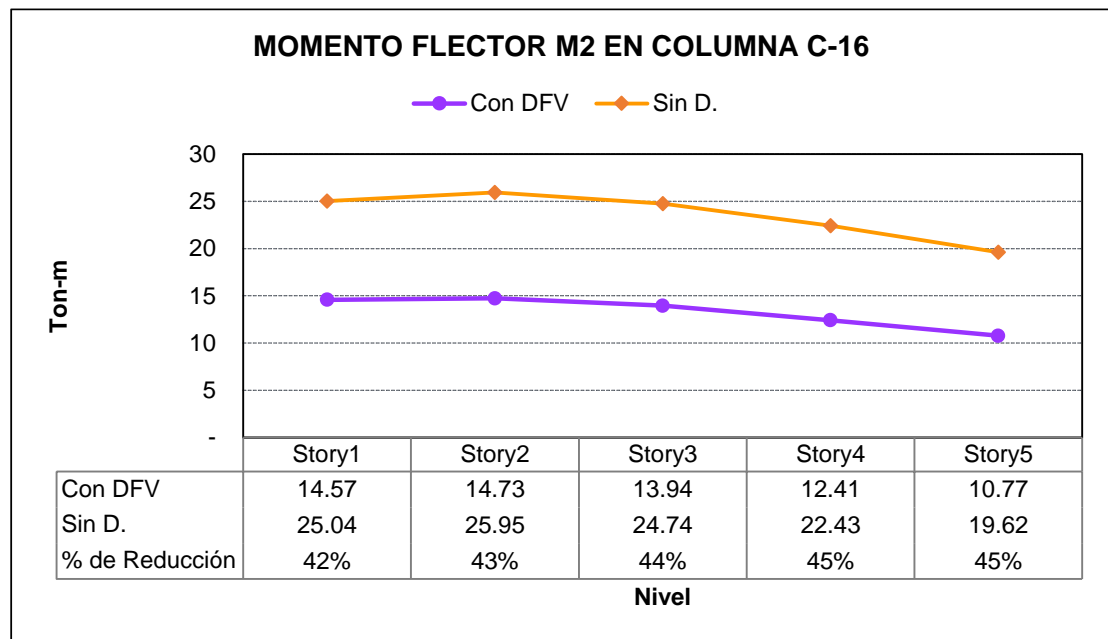
**Figura C.13** Momento flector máximo en columna C-17



**Figura C.14** Momento flector máximo en columna C-10.

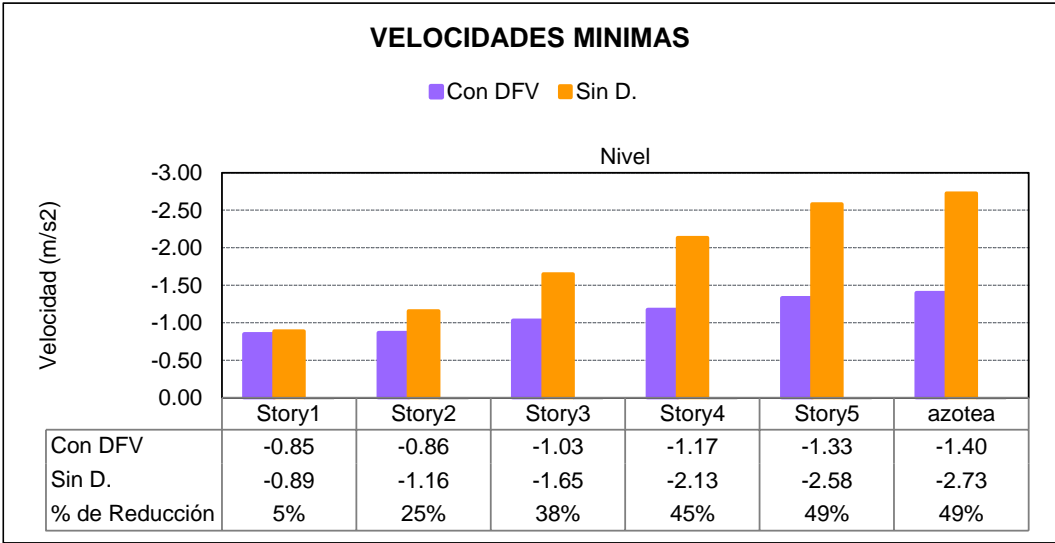


**Figura C.15** Momento flector máximo en columna C-21.

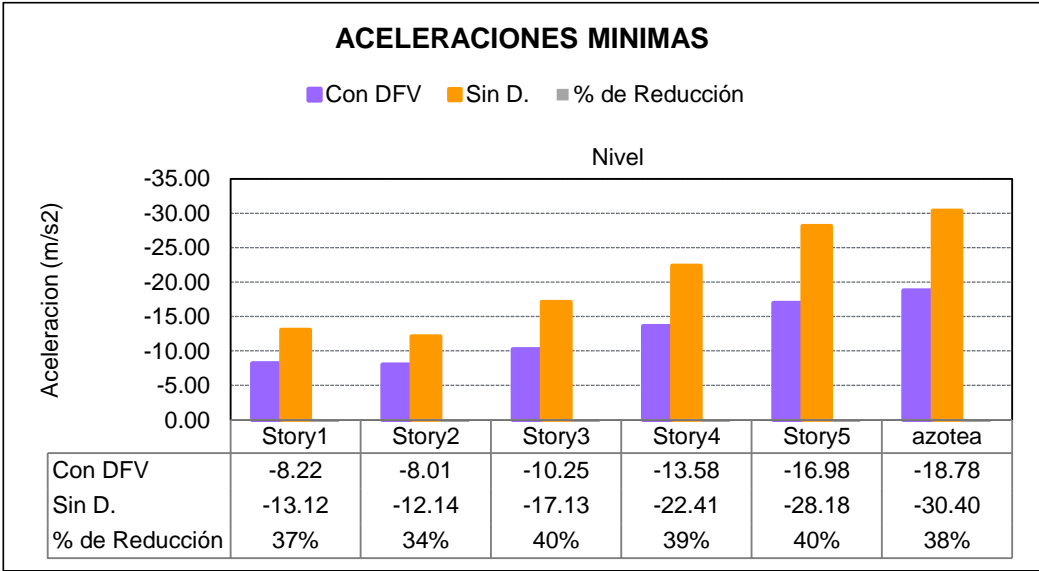


**Figura C.16** Momento flector máximo en columna C-16.

### C.3.ACELERACIÓN Y VELOCIDADES MÍNIMAS.



**Figura C.17** Velocidades mínimas del CM.



**Figura C.18** Aceleraciones mínimas del CM.

## **INFORMACIÓN CON FINES ACADÉMICOS**

Lima, 05 de julio del 2016

**PARA** : Bach. Franco Navarro Viera  
(TESISTA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, PIURA)

**ATENCIÓN** : Ing. Carlos Silva Castillo (ASESOR DE TESIS)

- 17 DISIPADORES SÍSMICOS TAYLOR F=40Toneladas; C= 75 Tn\*s/m; alpha=0.6
- 13 DISIPADORES SÍSMICOS TAYLOR F=25Toneladas; C=75 Tn\*s/m; alpha=0.6

PRECIO GLOBAL: 113 500.00 DOLARES USA

### **CONSIDERACIONES:**

1. La presente información se entrega para fines de desarrollo de la tesis: "COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS EN ESTRUCTURAS CON O SIN DISIPADORES DE ENERGÍA PASIVOS DE FLUIDO VISCOSO EN LA ZONA SÍSMICA CUATRO".
2. CDV está colaborando con la presente tesis mediante la emisión de costos referenciales de los dispositivos previamente diseñados por el tesista. CDV no asume ninguna responsabilidad por el diseño y las metodologías empleadas en el desarrollo de la misma.
3. El precio de los disipadores es muy sensible con las cantidades que se requieren, el precio variará si se modifican dichas cantidades.
4. Estos precios no son fijos en el tiempo, por lo tanto no podrán ser usados para trabajos académicos posteriores a estas fechas. La actualización de precios muchas veces se da mensualmente.
5. La información presentada es únicamente para fines educativos, no podrá ser usada como referencia oficial por alguna empresa o entidad, tampoco para el desarrollo de otra investigación. Se prohíbe la difusión cuyo objetivo sea diferente a los fines de la presente tesis.

### **NOTAS:**

6. Los precios NO incluyen IGV.
7. Precios dados en US\$ dólares USA
8. Disipadores Sísmicos fabricados en su totalidad en EE.UU. por TAYLOR DEVICES INC.
9. Las cantidades y características de los disipadores usadas para la presente cotización fueron tomadas en base a *INFORMACIÓN ENTREGADA POR EL TESISTA*.



Atentamente,

**Ing. Diego Taboada S. | Jefe Departamento de Ingeniería – Unidad de Negocios  
Protección Antisísmica | C. 99415\*2116 T. 346 1002**

Av. Javier Prado Este 3349, San Borja

[dtaboada@cdvperu.com](mailto:dtaboada@cdvperu.com)